

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-205484  
 (43)Date of publication of application : 22.07.2003

(51)Int.Cl. B25J 13/08  
 A63H 11/18  
 B25J 5/00

(21)Application number : 2001-401491 (71)Applicant : HONDA MOTOR CO LTD

(22)Date of filing : 28.12.2001

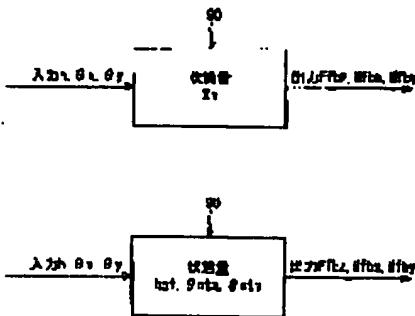
(72)Inventor : TAKENAKA TORU  
 GOMI HIROSHI  
 SHIGEMI SATOSHI  
 MATSUMOTO TAKASHI

## (54) LEG TYPE MOBILE ROBOT AND ITS FLOOR REACTION FORCE DETECTING DEVICE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To compactly house displacement sensors in feet parts of a leg type mobile robot with a constraint in space, and to calculate (estimate) not only displacement from their outputs but also floor reaction force.

**SOLUTION:** The humanoid robot is provided with at least an upper body, a plurality of legs connected to the upper body via first revolute joints, and the feet parts connected to tips of the leg parts via second revolute joints. The displacement sensor for detecting the displacement  $h$  is arranged in an interior of a cylindrical elastic body arranged between the second revolute joint and a ground touching end of the feet part, and the floor reaction forces  $F_{fbz}$ ,  $M_{fbx}$  and  $M_{fby}$  are estimated (calculated) from the displacement sensor output  $h$  by using a model describing displacement and stress generated in the cylindrical elastic body. Aside from the displacement sensor, a floor reaction force detector (a six-axis force sensor) is provided and deterioration or an anomaly in the displacement sensor or the six-axis force sensor or the like is detected (self-diagnosed).



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.11.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3726058

(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-205484

(P2003-205484A)

(43)公開日 平成15年7月22日 (2003.7.22)

(51) Int.Cl.  
 B 25 J 13/08  
 A 63 H 11/18  
 B 25 J 5/00

識別記号

F I  
 B 25 J 13/08  
 A 63 H 11/18  
 B 25 J 5/00

テ-マ-ト (参考)  
 Z 2 C 1 5 0  
 A 3 C 0 0 7  
 F

審査請求 未請求 請求項の数20 O.L (全 26 頁)

(21)出願番号 特願2001-401491(P2001-401491)  
 (22)出願日 平成13年12月28日 (2001.12.28)

(71)出願人 000003326  
 本田技研工業株式会社  
 東京都港区南青山二丁目1番1号  
 (72)発明者 竹中 透  
 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会  
 社本田技術研究所内  
 (72)発明者 五味 洋  
 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会  
 社本田技術研究所内  
 (74)代理人 100081972  
 弁理士 吉田 豊

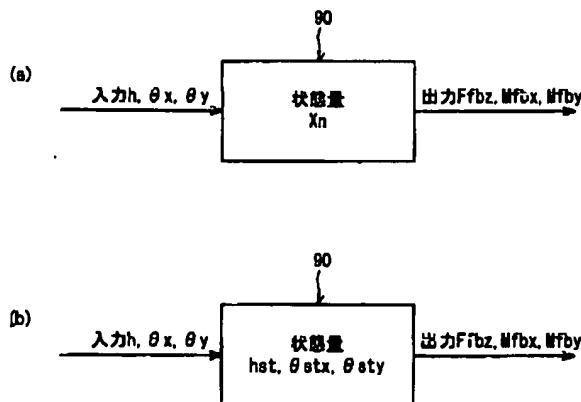
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置

## (57)【要約】

【課題】 スペース的に制約のある脚式移動ロボットの足部に変位センサをコンパクトに収容すると共に、その出力から変位に止まらず、床反力も算出（推定）する。

【解決手段】 少なくとも上体と、前記上体に第1の関節を介して連結される複数本の脚部を備えると共に、脚部の先端に第2の関節を介して連結される足部を備えたヒューマノイド型のロボットにおいて、第2の関節と足部の接地端の間に配置された円筒状弾性体の内部に変位 $h$ を検出する変位センサを配置すると共に、円筒状弾性体に生じる変位と応力を記述するモデルを用い、変位センサ出力 $h$ などから床反力 $F_{fbz}$ ,  $M_{fbx}$ ,  $M_{fby}$ を推定（算出）する。また、それと別に床反力検出器（6軸力センサ）も設け、変位センサ、6軸力センサなどの劣化あるいは異常も検知（自己診断）する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも上体と、前記上体に第1の関節を介して連結される複数本の脚部を備えると共に、前記脚部の先端に第2の関節を介して連結される足部を備えた脚式移動ロボットにおいて、

- a. 前記第2の関節と前記足部の接地端の間に配置された弾性体の内部および前記弾性体の付近の少なくともいずれかに設けられ、前記第2の関節に対する前記足部の接地端の変位を示す出力を生じる変位センサ、および
- b. 前記変位に応じて前記弾性体に生じる変位と応力の関係を記述するモデルを用い、前記変位センサの出力に基づいて前記足部に作用する床反力を算出する床反力算出手段、を備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【請求項2】 前記モデルは、第1のバネと、前記第1のバネに直列に配列されるダンパと、前記第1のバネおよびダンパに対して並列に配列される第2のバネとから記述されることを特徴とする請求項1項記載の脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【請求項3】 前記床反力算出手段は、前記ダンパの変位を推定することによって前記床反力を推定するオブザーバを備えることを特徴とする請求項2項記載の脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【請求項4】 前記床反力算出手段が算出する床反力が、少なくとも鉛直軸方向に作用する力成分を含むことを特徴とする請求項1項から3項のいずれかに記載の脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【請求項5】 前記変位センサが上視面において局部的に複数個配置されると共に、前記床反力算出手段は、前記複数個の変位センサのそれぞれの出力に基づいて前記床反力を算出するように構成したことを特徴とする請求項1項から4項のいずれかに記載の脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【請求項6】 前記床反力算出手段が算出する床反力が、前記鉛直軸方向に作用する力成分と、前記鉛直軸に直交する軸回りのモーメント成分を含むことを特徴とする請求項5項記載の脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【請求項7】 前記変位センサが、バネおよび感圧センサからなるように構成したことを特徴とする請求項1項から6項のいずれかに記載の脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【請求項8】 前記バネの剛性を前記弾性体の剛性に比して小さく設定するように構成したことを特徴とする請求項7項に記載の脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【請求項9】 前記第2の関節と前記足部の接地端の間に、前記ロボットが接地する床面から前記足部に作用する床反力を示す出力を生じる、第2の床反力検出器を配置するように構成したことを特徴とする請求項1項から8項のいずれかに記載の脚式移動ロボットの床反力検出

装置。

【請求項10】 さらに、

- c. 前記床反力算出手段が算出する床反力と、前記第2の床反力検出器の出力から検出される床反力に基づいて前記変位センサおよび前記第2の床反力検出器の少なくともいずれかが劣化あるいは異常か否か自己診断する自己診断手段、を備えたことを特徴とする請求項9項記載の脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【請求項11】 前記自己診断手段は、

- d. 前記床反力算出手段が算出する床反力と前記第2の床反力検出器の出力から検出される床反力との差および比の少なくともいずれかが第1の所定範囲内にあるか否か判断する第1の判断手段、を備え、前記自己診断手段は、前記差および比の少なくともいずれかが前記第1の所定範囲内にないと判断されるとき、前記変位センサ、前記第2の床反力検出器および前記弾性体の少なくともいずれかが劣化と自己診断することを特徴とする請求項10項記載の脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【請求項12】 前記自己診断手段は、

- e. 前記床反力算出手段が算出する床反力と前記第2の床反力検出器の出力から検出される床反力との差および比の少なくともいずれかが第2の所定範囲内にあるか否か判断する第2の判断手段、を備え、前記自己診断手段は、前記差および比の少なくともいずれかが前記第2の所定範囲内にないと判断されるとき、前記第2の床反力検出器が異常と自己診断することを特徴とする請求項10項または11項記載の脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【請求項13】 前記自己診断手段は、

- f. 前記差および比の少なくともいずれかが前記第1の所定範囲内にないと判断された回数をカウントするカウント手段、を備え、前記カウントされた回数が所定の回数を超えるとき、前記変位センサ、前記第2の床反力検出器および前記弾性体の少なくともいずれかが劣化と自己診断することを特徴とする請求項11項または12項記載の脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【請求項14】 少なくとも上体と、前記上体に第1の関節を介して連結される複数本の脚部を備えると共に、前記脚部の先端に第2の関節を介して連結される足部を備えた脚式移動ロボットにおいて、

- a. 前記第2の関節と前記足部の接地端の間に配置された弾性体の内部および前記弾性体の付近の少なくともいずれかに設けられ、前記第2の関節に対する前記足部の接地端の変位を示す出力を生じる変位センサ、
- b. 前記第2の関節と前記足部の接地端の間に配置され、前記ロボットが接地する床面から前記足部に作用する床反力を示す出力を生じる床反力検出器、および
- c. 前記変位に応じて前記弾性体に生じる変位と応力の関係を記述するモデルを用い、前記変位センサの出力と前記床反力検出器の出力から検出された床反力に基づ

き、前記変位センサから推定される床反力と前記床反力検出器の出力から検出された床反力との差を示す床反力推定誤差を出力すると共に、前記モデルのパラメータ値を同定する適応オブザーバ、を備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【請求項15】さらに、

d. 少なくとも前記パラメータ値に基づいて前記弾性体の劣化を自己診断する弾性体自己診断手段、を備えたことを特徴とする請求項14項記載の脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【請求項16】前記適応オブザーバが、前記足部のそれについて別々に設けられるように構成したことを特徴とする請求項14項または15項記載のも脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【請求項17】前記適応オブザーバが、前記足部の全てについて1個設けられるように構成したことを特徴とする請求項14項または15項記載の脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【請求項18】前記パラメータ値が、複数個の前記適応オブザーバに共通して用いられることを特徴とする請求項16項に記載の脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【請求項19】さらに、

e. 前記床反力推定誤差に基づいて前記床反力検出器の異常を自己診断する床反力検出器自己診断手段、を備えたことを特徴とする請求項14項から18項のいずれかに記載の脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【請求項20】前記モデルが前記弾性体の粘弾性特性をバネとダンパーで近似するものであると共に、前記パラメータ値が前記バネとダンパーの定数からなるように構成したことを特徴とする請求項14項から19項のいずれかに記載の脚式移動ロボットの床反力検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置に関する。

【0002】

【従来の技術】脚式移動ロボット、特に2足のヒューマノイド型の脚式移動ロボットにおいては、足部にセンサを配置して床面への着地による足部の変位あるいは床面から足部に作用する床反力を検出し、検出値に基づいて安定した歩行を実現するように適宜な制御が行われる。

【0003】足部に床反力を検出するセンサを配置した例としては例えば、特開平5-305584号公報記載の技術が知られており、その従来技術にあってはヒューマノイド型のロボットの足関節と足部の接地端の間に6軸力センサを配置して足部に作用する床反力を検出している。

【0004】また足部の変位を検出するセンサを配置した例としては例えば、日本ロボット学会誌 V o l . 1

3, N o . 7, p p . 1030から1037(1995年10月号)で提案されている技術が知られており、その従来技術にあっては同種の脚式移動ロボットの足部を、上部足底板と下部足底板の間に衝撃緩衝材をワイヤで連結してはさみ、上部足底板の四隅にポテンショメータ(変位センサ)の検出素子を取り付けると共に、その上方に変換部などを配置し、検出素子を介して上部と下部の足底板間の距離(変位)を検出することで着地の有無と着地路面の高さ偏差(凹凸)を検出している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、脚式移動ロボット、特にヒューマノイド型のロボットの足部は、歩行時に遊脚を振ることによる反力によって生じる支持脚側の鉛直軸回りのねじれを防止するために適宜なガイド部材などを設ける必要があると共に、遊脚の着地時の衝撃を吸収して緩和できるよう適宜な弾性を備えることが要求される。

【0006】このように、脚式移動ロボット、特にヒューマノイド型のロボットの足部にセンサを設けようとするとき、足部はスペース的にも限界があることから、変位センサをコンパクトに収納するのが望ましく、さらに、脚式移動ロボットを一層安定に歩行させようとすると、足部の変位から着地の有無を検出するに止まらず、足部に作用する床反力を検出するのが望ましい。

【0007】従って、この発明の第1の目的は、脚式移動ロボットの足部に変位センサを配置すると共に、その出力に基づいて足部に作用する床反力を算出(推定)するようにした脚式移動ロボットの床反力検出装置を提供することにある。

【0008】さらに、脚式移動ロボットの足部に床反力検出器を設けて足部に作用する床反力を検出するときも、それとは別に、足部に変位センサを配置して床反力を算出(推定)すれば、異種の検出手段を組み合わせてセンサの二重系を構成することができ、検出信頼性を向上させることができる。

【0009】従って、この発明の第2の目的は、脚式移動ロボットの足部に床反力検出器を設けて足部に作用する床反力を検出すると共に、それとは別に足部に変位センサを配置して床反力を算出(推定)し、よってセンサの二重系を構成して検出信頼性を向上させるようにした脚式移動ロボットの床反力検出装置を提供することにある。

【0010】さらに、脚式移動ロボットの足部に床反力検出器を設けて足部に作用する床反力を検出すると共に、それとは別に足部に変位センサを配置して床反力を算出(推定)するとき、床反力検出器は前記したような着地時の衝撃に曝されることから、検出信頼性をさらに向上させる意味で、変位センサの出力から床反力検出器の劣化あるいは異常を自己診断するのが望ましい。

【0011】従って、この発明の第3の目的は、脚式移

動ロボットの足部に床反力検出器を設けて足部に作用する床反力を検出すると共に、それとは別に足部に変位センサを配置して床反力を算出（推定）するとき、変位センサの出力から床反力検出器の劣化あるいは異常を自己診断して検出信頼性を更に向上させるようにした脚式移動ロボットの床反力検出装置を提供することにある。

【0012】さらに、脚式移動ロボットの足部に床反力検出器を設けて足部に作用する床反力を検出すると共に、それとは別に足部に弾性体の粘弾性特性を利用した変位センサを配置して床反力を算出（推定）するとき、弾性体の粘弾性特性は温度や劣化に依存して変化するが、温度センサなどを設けて補償するようにすると、構成が複雑となる恐れがある。

【0013】従って、この発明の第4の目的は、脚式移動ロボットの足部に床反力検出器を設けて足部に作用する床反力を検出すると共に、それとは別に足部に粘弾性特性を利用した変位センサを配置して床反力を算出（推定）するとき、温度センサを設けることなく、弾性体の温度ドリフトや劣化による粘弾性特性の変化を推定可能とし、よって検出信頼性を一層向上させるようにした脚式移動ロボットの床反力検出装置を提供することにある。

#### 【0014】

【課題を解決するための手段】上記した第1の目的を達成するために、請求項1項にあっては、少なくとも上体と、前記上体に第1の関節を介して連結される複数本の脚部を備えると共に、前記脚部の先端に第2の関節を介して連結される足部を備えた脚式移動ロボットにおいて、前記第2の関節と前記足部の接地端の間に配置された弾性体の内部および前記弾性体の付近の少なくともいずれかに設けられ、前記第2の関節に対する前記足部の接地端の変位を示す出力を生じる変位センサ、および前記変位に応じて前記弾性体に生じる変位と応力の関係を記述するモデルを用い、前記変位センサの出力に基づいて前記足部に作用する床反力を算出する床反力算出手段を備える如く構成した。

【0015】弾性体の内部あるいはその付近に第2の関節に対する足部の接地端の変位を示す出力を生じる変位センサを設けると共に、その変位に応じて弾性体に生じる変位と応力の関係を記述するモデルを用い、変位センサの出力に基づいて足部に作用する床反力を算出する如く構成したので、床反力を精度良く算出することができ、脚式移動ロボットを一層安定に歩行させることが可能となる。

【0016】請求項2項にあっては、前記モデルは、第1のバネと、前記第1のバネに直列に配列されるダンバーと、前記第1のバネおよびダンバーに対して並列に配列される第2のバネとから記述されるように構成した。

【0017】モデルが、第1のバネと、前記第1のバネに直列に配列されるダンバーと、前記第1のバネおよびダ

ンバーに対して並列に配列される第2のバネとから記述されるように構成した、即ち、弾性体のダンピング特性まで考慮したモデルを用いるようにしたことから、周波数特性に優れた床反力の推定値を得ることができ、換言すれば床反力の算出を応答性良く行うことが、脚式移動ロボットを一層安定に歩行させることが可能となる。

【0018】請求項3項にあっては、前記床反力算出手段は、前記ダンバーの変位を推定することによって前記床反力を推定するオブザーバを備えるように構成した。

【0019】ダンバーの変位を推定することによって床反力を推定するオブザーバを備えるように構成したので、床反力をより一層精度良く算出することができ、脚式移動ロボットを一層安定に歩行させることができる。

【0020】請求項4項にあっては、前記床反力算出手段が算出する床反力が、少なくとも鉛直軸方向に作用する力成分を含むように構成した。

【0021】床反力算出手段が算出する床反力が、少なくとも鉛直軸方向に作用する力成分を含むように構成したので、その方向に作用する床反力に基づいて脚式移動ロボットを一層安定に歩行させることができる。

【0022】請求項5項にあっては、前記変位センサが上視面において局部的に複数個配置されると共に、前記床反力算出手段は、前記複数個の変位センサのそれぞれの出力に基づいて前記床反力を算出するように構成した。

【0023】変位センサが上視面において局部的に複数個配置されると共に、複数個の変位センサのそれぞれの出力に基づいて床反力を算出するように構成したので、請求項1項で述べた効果に加え、足部の弾性を最適にすことができる。

【0024】請求項6項にあっては、前記床反力算出手段が算出する床反力が、鉛直軸方向に作用する力成分と、前記鉛直軸に直交する軸回りのモーメント成分を含むように構成した。

【0025】算出する床反力が、重力軸方向に作用する力成分と、前記重力軸に直交する軸回りのモーメント成分を含むように構成したので、請求項4項で述べた効果に加え、それらの方向に作用する床反力に基づいて脚式移動ロボットを一層安定に歩行させることができる。

【0026】請求項7項にあっては、前記変位センサが、バネおよび感圧センサからなるように構成した。

【0027】変位センサが、バネおよび感圧センサからなるように構成したので、請求項1項で述べた効果に加え、センサの構成を一層コンパクトにすことができる。

【0028】請求項8項にあっては、前記バネの剛性を前記弾性体の剛性に比して小さく設定するように構成した。

【0029】バネの剛性を弾性体の剛性に比して小さく

設定するように構成したので、請求項1項で述べた効果に加え、弾性体の振動減衰効果を低下させることができない。

【0030】請求項9項にあっては、前記第2の関節と前記足部の接地端の間に、前記ロボットが接地する床面から前記足部に作用する床反力を示す出力を生じる、第2の床反力検出器を配置するように構成した。

【0031】第2の関節と足部の接地端の間に、ロボットが接地する床面からロボットに作用する床反力を示す出力を生じる、第2の床反力検出器を配置するように構成したので、脚式移動ロボットの足部に床反力検出器を設けて足部に作用する床反力を検出するときも、それとは別に、足部に変位センサを配置して床反力を算出（推定）すれば、異種の検出手段を組み合わせてセンサの二重系を構成することができて検出信頼性を向上させることができる。

【0032】請求項10項にあっては、さらに、前記床反力算出手段が算出する床反力と前記床反力検出器の出力から検出される床反力に基づいて前記変位センサおよび前記第2の床反力検出器の少なくともいずれかが劣化あるいは異常か否か自己診断する自己診断手段を備える如く構成した。

【0033】さらに、算出する床反力と第2の床反力検出器の出力から検出される床反力に基づいて変位センサおよび床反力検出器の少なくともいずれかが劣化あるいは異常か否か自己診断する自己診断手段を備える如く構成したので、検出信頼性を更に向上させることができる。

【0034】請求項11項にあっては、前記自己診断手段は、前記床反力算出手段が算出する床反力と前記第2の床反力検出器の出力から検出される床反力の差および比の少なくともいずれかが第1の所定範囲内にあるか否か判断する第1の判断手段を備え、前記自己診断手段は、前記差および比の少なくともいずれかが前記第1の所定範囲内にないと判断されるとき、前記変位センサ、前記第2の床反力検出器および前記弾性体の少なくともいずれかが劣化と自己診断する如く構成した。

【0035】算出する床反力と検出される床反力の差および比の少なくともいずれかが第1の所定範囲内にあるか否か判断し、第1の所定範囲内にないと判断されるとき、変位センサ、第2の床反力検出器および弾性体の少なくともいずれかが劣化と自己診断する如く構成したので、それらの劣化を精度良く自己診断することができる。

【0036】請求項12項にあっては、前記自己診断手段は、前記第2の床反力算出手段が算出する床反力と前記床反力検出器の出力から検出される床反力の差および比の少なくともいずれかが第2の所定範囲内にあるか否か判断する第2の判断手段を備え、前記自己診断手段は、前記差および比の少なくともいずれかが前記第2の

所定範囲内にないと判断されるとき、前記第2の床反力検出器が異常と自己診断するように構成した。

【0037】算出する床反力と検出される床反力の差および比の少なくともいずれかが第2の所定範囲内にあるか否か判断し、第2の所定範囲内にないと判断されるとき、第2の床反力検出器が異常と自己診断するように構成したので、第2の床反力検出器の異常を精度良く自己診断することができる。

【0038】請求項13項にあっては、前記自己診断手段は、前記差および比の少なくともいずれかが前記第1の所定範囲内にないと判断された回数をカウントするカウント手段を備え、前記カウントされた回数が所定回数を超えるとき、前記変位センサ、前記第2の床反力検出器および前記弾性体の少なくともいずれかが劣化と自己診断する如く構成した。

【0039】差および比の少なくともいずれかが第1の所定範囲内にないと判断された回数をカウントし、それが所定回数を超えるとき、変位センサ、第2の床反力検出器および弾性体の少なくともいずれかが劣化と自己診断する如く構成したので、一過性の事象によって誤認することが少なく、それらの劣化を一層精度良く自己診断することができる。

【0040】請求項14項にあっては、少なくとも上体と、前記上体に第1の関節を介して連結される複数本の脚部を備えると共に、前記脚部の先端に第2の関節を介して連結される足部を備えた脚式移動ロボットにおいて、前記第2の関節と前記足部の接地端の間に配置された弾性体の内部および前記弾性体の付近の少なくともいずれかに設けられ、前記第2の関節に対する前記足部の接地端の変位を示す出力を生じる変位センサ、前記第2の関節と前記足部の接地端の間に配置され、前記ロボットが接地する床面から前記足部に作用する床反力を示す出力を生じる床反力検出器、および前記変位に応じて前記弾性体に生じる変位と応力の関係を記述するモデルを用い、前記変位センサの出力と前記床反力検出器の出力から検出された床反力に基づき、前記変位センサから推定される床反力と前記床反力検出器の出力から検出された床反力との差を示す床反力推定誤差を出力すると共に、前記モデルのパラメータ値を同定する適応オブザーバを備える如く構成した。

【0041】弾性体の内部およびその付近の少なくともいずれかに設けられ、第2の関節に対する足部の接地端の変位を示す出力を生じる変位センサ、床面から足部に作用する床反力を示す出力を生じる床反力検出器、および変位に応じて弾性体に生じる変位と応力の関係を記述するモデルを用い、変位センサから推定される床反力と床反力検出器の出力から検出された床反力との差を示す床反力推定誤差を出力すると共に、モデルのパラメータ値を同定する適応オブザーバを備える如く構成したので、脚式移動ロボットの足部に床反力検出器を設けて足

部に作用する床反力を検出すると共に、それとは別に、足部に粘弾性特性を利用した変位センサを配置して床反力を算出（推定）するとき、温度センサを設けることなく、弾性体の温度ドリフトや劣化による粘弾性特性の変化を推定することができ、よって検出精度を一層向上させることができる。

【0042】請求項15項にあっては、さらに、少なくとも前記パラメータ値に基づいて前記弾性体の劣化を自己診断する弾性体自己診断手段を備えるように構成した。

【0043】少なくともパラメータ値に基づいて弾性体の劣化を自己診断するように構成したので、検出信頼性を一層向上させることができる。

【0044】請求項16項にあっては、前記適応オブザーバが前記足部のそれぞれについて別々に設けられ、前記出力推定誤差と推定出力を出力するように構成した。

【0045】適応オブザーバが足部（脚部）のそれぞれについて別々に設けられて出力推定誤差と推定出力を出力するに構成したので、足部のそれぞれの値について検出精度を一層向上させることができる。

【0046】請求項17項にあっては、前記適応オブザーバが前記足部の全てについて1個設けられ、前記出力推定誤差と推定出力を出力するように構成した。

【0047】適応オブザーバが足部（脚部）の全てについて1個設けられて出力推定誤差と推定出力を出力するように構成したので、簡易な構成でありながら、足部のそれぞれの値について検出精度を向上させることができる。

【0048】請求項18項にあっては、前記パラメータ値が、複数個の前記適応オブザーバに共通して用いられるように構成した。

【0049】パラメータ値が複数個の適応オブザーバに共通して用いられるように構成したので、請求項16項の効果に加え、パラメータ値の差による歩行時の不安定化を防止することができる。

【0050】請求項19項にあっては、さらに、前記床反力推定誤差に基づいて前記床反力検出器の異常を自己診断する床反力検出器自己診断手段を備えるように構成した。

【0051】さらに、床反力推定誤差に基づいて床反力検出器の異常を自己診断するように構成したので、検出信頼性を一層向上させることができる。

【0052】請求項20項にあっては、前記モデルが前記弾性体の粘弾性特性をバネとダンパーで近似するものであると共に、前記パラメータ値が前記バネとダンパーの定数からなるように構成した。

【0053】モデルが、弾性体の粘弾性特性をバネとダンパーで近似するものであると共に、パラメータ値が前記バネとダンパーの定数からなるように構成したので、温度ドリフトや劣化による粘弾性特性の変化を一層的確に推

定することができる。

#### 【0054】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照してこの発明の一つの実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置を説明する。

【0055】図1はこの実施の形態に係る脚式移動ロボット、より詳しくは2足のヒューマノイド型のロボットおよびその床反力検出装置を全体的に示す概略図である。

【0056】図示の如く、2足のヒューマノイド型のロボット（脚式移動ロボット。以下「ロボット」という）1は、左右それぞれの脚部（脚あるいは脚部リンク）2に6個の関節を備える。6個の関節は上から順に、股（腰部）の脚部回転用（Z軸まわり）の関節10R, 10L（右側をR、左側をLとする。以下同じ）、股（腰部）のロール方向（X軸まわり）の関節12R, 12L、股（腰部）のピッチ方向（Y軸まわり）の関節14R, 14L、膝部のピッチ方向の関節16R, 16L、足首のピッチ方向の関節18R, 18L、および同ロール方向の関節20R, 20Lから構成される。

【0057】関節18R（L), 20R（L)の下部には足部（足平）22R, Lが取り付けられると共に、最上位には上体（基体）24が設けられ、その内部に制御ユニット26および搭載バッテリ（図示せず）などが格納される。制御ユニット26は、CPU, ROM, RAMなどからなるマイクロコンピュータから構成されると共に、ロボット1のセンサ系などの異常を警告する警告灯、およびその内容を表示する表示装置（共に図示せず）を備える。また、制御ユニット26のRAMの一部は、搭載バッテリからの通電が停止された後も記憶値の一部を格納し続ける、不揮発メモリからなるバックアップ部を備える。

【0058】上記において、股関節（あるいは腰関節。前記した第1の関節）は関節10R（L), 12R（L), 14R（L)から、足関節（足首関節。前記した第2の関節）は関節18R（L), 20R（L)から構成される。股関節と膝関節（16R（L)）とは大腿リンク28R, L、膝関節と足関節とは下腿リンク30R, Lで連結される。また、足関節と足部22R（L)とは末端リンク32R, Lで連結される。

【0059】また、同図に示す如く、足関節18, 20R（L)と足平22R（L)の接地端の間には、公知の6軸力センサ（床反力検出器）34が取り付けられ、力の3方向成分 $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ とモーメントの3方向成分 $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ とを測定し、足部の着地（接地）の有無および床面（図示せず）から作用する床反力（接地荷重）などを示す出力を生じる。また、上体24には傾斜センサ36が設置され、Z軸（鉛直方向（重力方向））に対する傾きとその角速度を示す出力を生じる。また、各関節を駆動する電動モータには、その回転量を

示す出力を生じるロータリエンコーダ（図示せず）が設けられる。

【0060】これら6軸力センサ34などの出力は制御ユニット26に入力される。制御ユニット26は、搭載バッテリから通電されて動作し、ROMに格納されているデータおよび入力されたセンサ出力に基づいて関節駆動操作量を算出し、前記した関節群を駆動する。上記の如く、脚部2は左右の足それぞれについて6つの自由度を与えられていることから、歩行中にこれら $6 \times 2 = 12$ 個の関節を適宜な角度で駆動することで、ロボット1に所望の動きを与えることができ、任意に3次元空間を歩行させることができる。尚、この明細書で「\*」は乗算を示す。

【0061】さらに、制御ユニット26は、ROMに格納されたアルゴリズムに従い、特開平10-277969号で提案されているように、傾斜センサ36で検出された傾きに応じて補償床反力（より詳しくはモーメント）を求め、補償床反力と目標全床反力の合力に検出された全床反力が一致するような複合的なコンプライアンス制御を行うと共に、特開2001-322076号で提案されるように、補償全床反力の制御偏差に基づいて接地する床面の形状を推定する。尚、「全床反力」とは、足部22R(L)に作用する床反力の合計値を意味する。

【0062】左右の足部22R(L)の接地端と6軸力センサ34の間には、バネ機構体38(後述)が装備されると共に、足底にはソール40が貼られてコンプライアンス機構42を構成する。足部22R(L)が床反力を受けると、コンプライアンス機構42においてバネ機構体38およびソール40がたわみ、足部22R(L)を変位させて着地時の衝撃を緩和する。

【0063】統いて、図2以降を参照して図1に示したロボット1の足部22R(L)の構成、具体的には6軸力センサ34、およびその周辺部材の構成を詳細に説明する。

【0064】図2は前記した足部22R,Lのうち、左脚の足部22Lの側面断面図、図3は図2を底面から見た底面図である。また、足部22R(L)は左右対称であるため、右脚の足部22Rの説明は省略すると共に、以下特に必要な場合を除きR,Lを付すのを省略する。

【0065】図2に示す如く、6軸力センサ34は足関節18,20と足部22の接地端、即ち、足部22の下部のバネ機構体38、足底フレーム(第2の剛性体)50、足底プレート52およびソール40からなる接地端の間に取り付けられる。バネ機構体38は、逆Ω字状フレーム(第1の剛性体)381、円筒状弾性体(弾性体)382およびボルト383からなる。6軸力センサ34の上部は、足関節18,20付近の末端側のリンク32に位置決めピン54によって位置決めされつつ複数個の上部固定用ボルト56によって締結固定される。末

端側のリンク32は、チタンやマグネシウム合金などの高剛性の金属(合金)材により製作される。

【0066】6軸力センサ34の下部は、前記したバネ機構体38を介して足底フレーム50に接続される。足底フレーム50の上面には足関節18,20に向けてリブが一体的に隆起されてガイド部50aが形成され、足関節18,20に接続される逆Ω字状フレーム381を収容して前記した鉛直軸回りの支持脚側のねじれを防止する。足底フレーム50は、剛性を備えた金属材から製作される。

【0067】また、バネ機構体38を構成する逆Ω字状フレーム381も同様に剛性を備えた素材、例えばアルミニウム(あるいはその合金)材から製作される。逆Ω字状フレーム381の中央には凹部が形成され、そこに6軸力センサ34の下部を収容する、6軸力センサ34と逆Ω字状フレーム381が8個の下部固定用ボルト58によって締結固定される。

【0068】逆Ω字状フレーム381と足底フレーム50の間隙には、潤滑性の高い素材より製作されるリング状部材60が介在し、逆Ω字状フレーム381が足底フレーム50のガイド部50a内で上下に摺動する際にピストンリングのような働きをする。

【0069】このように、円筒状弾性体382は、足関節(第2の関節)18,20と足部22の接地端の間、より詳しくは足関節18,20に接続される逆Ω字状フレーム381(第1の剛性体)と、足部22の接地端に接続される足底フレーム(第2の剛性体)とで規定される空間内に、上面視において相互に離間させられて局部的に複数個配置される。

【0070】より具体的には、円筒状弾性体382は、図3に示す如く、足部22の縁部(周辺)に相互に同じ距離だけ離間させられ、382aから382dまで4個配置される。尚、図3は底面図のため、正確には下面視で示しているが、上面視でも左右対称となるだけで、配置位置は同様である。円筒状弾性体382は合成ゴム材などの弾性に優れた素材から製作される。

【0071】円筒状弾性体382を収容する空間を規定する逆Ω字状フレーム381と足底フレーム50は、バネ機構体用のボルト383(およびナット383a)で、円筒状弾性体382の両端を挟持して締結される。図2に示す如く、円筒状弾性体382のそれぞれの内部には空隙が気密に形成され、そこに変位センサ70が収容(内蔵)される。

【0072】図4は図2の変位センサ収容位置付近を拡大して示す説明図であるが、図示の如く、変位センサ70は、プレート状の静電容量式の感圧センサ701と、それに対向配置されたプレート状体702と、感圧センサ701とプレート状体702の間に弾装されて感圧センサ701に圧力を加えるスプリング(バネ)703からなる。感圧センサ701の内部には検出素子および変

換部（共に図示せず）が一体的に内蔵され、変換部の出力はハーネス704から取り出され、制御ユニット26に送られる。

【0073】図4に良く示すように、円筒状弾性体382の上下端の高さ（自然長）をhtとするとき、変位センサの高さはそれ未満のhsとされ、よって変位センサ70が円筒状弾性体382の上下端htで規定される空間内に配置されるように構成される。

【0074】この変位センサ70にあっては、足部22が接地するなどして円筒状弾性体382に圧縮方向の荷重が作用すると、円筒状弾性体382が縮み、それに伴ってスプリング703が縮む。そのスプリング703の応力を感圧センサ701で測定し、スプリング長（円筒状弾性体382の変位）を測定するように構成される。即ち、スプリング703の伸縮による応力を感圧センサ701で圧力値として計測してスプリング703の変位に変換するように構成される。

【0075】続いて、後述するように、スプリング703の変位に応じて円筒状弾性体382に生じる応力を、円筒状弾性体382の粘弾性特性に基づいて記述するモデルを用い、変位センサ70の出力に基づいて円筒状弾性体382に生じる応力、即ち、ロボット1が接地する床面などから足部22に作用する床反力を算出するようにした。

【0076】このように、変位センサ70は感圧センサ701およびスプリング703などから構成され、足関節18、20に対する足部22の接地端の変位（移動距離）、即ち、逆Ω字状フレーム381と足底フレーム50の間の変位（移動距離）を示す出力を生じると共に、その出力に基づいて足部22に作用する床反力（荷重）を検出するように構成した。

【0077】尚、スプリング703の剛性は、円筒状弾性体382の剛性に比して十分に小さく設定するものとする。これは、円筒状弾性体382の粘性による振動減衰効果を低下させないためである。

【0078】ここで、6軸力センサ34などの検出軸について図3を参照して説明すると、足部22の底面（足底面）は大略矩形状を呈し、その中心位置よりも前後方向（X軸方向）においてやや後方に6軸力センサ34が配置される。同図でXcは6軸力センサ34のX軸方向における検出軸を示し、YcはY軸方向における検出軸を示す。これらX軸方向検出軸XcおよびY軸方向検出軸Ycは、図2に良く示す脚部中心線（Z軸方向）ftcと直交させられ、6軸力センサ34のZ軸方向検出軸Zcが脚部中心線ftcと同一となるように6軸力センサ34が配置される。

【0079】尚、上記で前後方向とはX軸方向を意味し、前記した図1から明らかなように、ロボット1の進行方向を意味する。また、左右（横）方向とはY軸方向を意味し、X軸方向（進行方向）およびZ軸方向（重力

方向）に直交する方向を意味する。以下同様とする。

【0080】6軸力センサ34は、円筒状弾性体382の2個（382aと382c、あるいは382bと382d。いずれもその下方に位置するバネ機構体用のボルト383で示す）の中点付近にZ軸方向検出軸Zcが位置するように配置される。

【0081】6軸力センサ34は具体的には、進行方向（X軸方向）、より具体的にはX軸方向検出軸上に位置する2個の円筒状弾性体382a、cの中点付近にZ軸方向検出軸Zcが位置するように配置されると共に、左右方向（Y軸方向）、より具体的にはY軸方向検出軸上に位置する2個の円筒状弾性体の2個382b、dの中点付近にZ軸方向検出軸Zcが位置するように配置される。即ち、4個の円筒状弾性体382（382aから382d）によって形成される四角形、具体的には四辺同長の菱形（より具体的には各頂点が直角の正方形）の重心付近にZ軸方向検出軸Zcが位置するように配置される。

【0082】尚、図2において、符号62は変位センサ70のアンプ（増幅器）を、64は足部22の爪先を示す。

【0083】この実施の形態に係る脚式移動ロボットは上記の如く、検出素子と変換部からなる変位センサ70を上面視において4個、局部的に円筒状弾性体382の上下端htで規定される空間内に配置し（内蔵させ）、よって足関節18、20に対する足部22の接地端の変位を検出可能に構成したので、スペース的に制約のあるロボット1の足部22の円筒状弾性体382に変換部などの構成要素も含めて変位センサ70をコンパクトに収納することができる。

【0084】さらに、円筒状弾性体382の気密に形成された空隙内に変位センサ70を内蔵せると共に、円筒状弾性体382を、足関節18、20と足部22の接地端の間に4個、上面視において局部的に、より具体的には足部22の縁部（周辺）に配置するようにしたので、足部22の弾性を最適にすることができる。即ち、図示のロボット1の足部22は曲げ（回転方向）の弾性と上下方向の双方に適度な弾性を備えるのが望ましいが、例えば、円筒状弾性体382を足部の中央付近に偏在させる場合、曲げ弾性が適切な値になるように弾性体の弾性係数を設定すると、上下方向の弾性が固くなり過ぎるなど、要求が相反して双方を満足させるのが困難となる。しかし、上記のように配置することで、かかる相反する要求を最適に満足させることができる。

【0085】また、変位センサ70は気密に形成された空隙（空間）内に収容される、換言すればその空隙内に密閉されるように構成したので、変位センサ70に水分、塵埃などの異物が付着あるいは侵入するのを防止することができ、変位センサ70の耐久性を高めることができる。さらに、周囲温度の影響も受け難くなり、温度

補償などの補正の必要性を軽減することができる。

【0086】また、変位センサ70がスプリング703および感圧センサ701からなるように構成したので、通常の変位（ストローク）から検出する場合に比し、センサの構成を一層コンパクトにすることができる。

【0087】具体的には、通常のストロークセンサにあっては、図4で破線で示すようにシャフトの長さ $h_{shaft}$ に、実測可能な有効ストローク $e_{fst}$ と同じかそれ以上の可動スペースを加算した厚み（高さ）が必要になる。従って、仮にシャフトの長さ $h_{shaft}$ と有効ストローク $e_{fst}$ が等しい（シャフトの全長を有効ストロークとして利用できる）としても、ストロークセンサの厚みは最低でも $2 * e_{fst}$ だけ必要になる。

【0088】このため、円筒状弾性体382がその自然長 $h_t$ の $1/2$ 以下に縮む（即ち、 $e_{fst}$ が $1/2 h_t$ 以上必要になる）とすれば、かかるストロークセンサを円筒状弾性体382の上下端で規定される空間内に内蔵させることはできない。尚、実際にはシャフトの全長の全てを有効ストロークとして利用することは困難なため、ストロークセンサの厚みは $2 * e_{fst}$ 以上となり、かかる不具合がより顕著となる。これに対し、この実施の形態に係る変位センサ70にあっては、スプリング703の弾性および感圧センサ701の感度を適宜設定することにより、円筒状弾性体382の自然長 $h_t$ 未満の $h_s$ とすることができる。

【0089】また、スプリング703の剛性を円筒状弾性体382の剛性に比して小さく設定するように構成したので、円筒状弾性体382の振動減衰効果を低下させることがない。

【0090】図5は、この発明の第2の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置の動作（自己診断動作）を示すフロー・チャートである。

【0091】第2の実施の形態にあっては、第1の実施の形態に係る脚式移動ロボットの足部22に配置された変位センサ70の異常を自己診断するように構成した。即ち、変位センサ70を4個配置したことから、第2の実施の形態においては、その冗長自由度を利用して変位センサ70の異常検知（自己診断）を行うように構成した。

【0092】以下、それについて説明する。

【0093】図3において、円筒状弾性体382a, 382b, 382c, 382dにそれぞれ内蔵される変位センサ70a, 70b, 70c, 70dの出力（変位あるいは円筒状弾性体382の縮み量を示す）を $L_1, L_2, L_3, L_4$ とするとき、4個の変位センサ70が正常であれば、幾何学的な関係として次式1が常に成立する。尚、センサ出力にはオフセットがないものと仮定する。

$$L_1 + L_3 - L_2 - L_4 = 0 \quad \dots \quad \text{式1}$$

【0094】図5フロー・チャートは、式1に基づいて

行われる変位センサ70の異常検知（自己診断）を示すフロー・チャートである。

【0095】尚、図示のプログラムは、制御ユニット26において制御周期ごと、例えば10 msecごとに、左右の脚（脚部2）の両方について実行される。

【0096】以下説明すると、S10において4個の変位センサ70の検出値 $L_n$ を読み込み、S12に進み、式1の左辺の絶対値が許容値（所定の値） $\epsilon$ （零に近い正の値あるいはその近傍の値。式1の左辺を絶対値としないならば零近傍の値）以下であるか否か、即ち、検出値 $L_n$ が式1を近似的に満足しているか否か判断する。尚、検出値 $L_n$ が式1をより正確（厳密）に満足しているか否かを判断するには、許容値 $\epsilon$ を零にし、不等号を等号にすれば良い。また、変位センサ70の配置位置にオフセットがある場合は、式1の左辺を $L_1 + L_3 - L_2 - L_4 + C$ （ただしC：規定値）とするか、またはS12において $L_1 + L_3$ と $L_2 + L_4$ の差が所定の差あるいは略所定の差であるか否かを判断するようにすれば良い。

【0097】S12で肯定されるときはS14に進み、4個の変位センサ70が全て正常と判断してフラグFのビットを0にリセットする。他方、S12で否定されるときはS16に進み、4個の変位センサ70の全てあるいは少なくともいずれかに断線などの異常が生じたと判定し、フラグFのビットを1にセットすると共に、前記した警告灯を点灯し、その内容を表示装置に表示する。尚、警告灯は、例えば変位センサ70が異常のときに点灯されるべきもの（および後述する変位センサ70と6軸力センサ34と円筒状弾性体382に少なくともいずれかが劣化と判定されたときに点灯されるべきもの、および6軸力センサ34が異常と判定されるときに点灯されるべきもの）など検出対象に応じて複数個用意しても良い。

【0098】この実施の形態にあっては、足関節18, 20に接続される逆Ω状フレーム（第1の剛性体）381と、足部22の接地端に接続される足底プレート（第2の剛性体）50とで規定される空間内に、上面視において相互に離間して足部22の縁部に配置されて前記足関節18, 20に対する前記足部2の接地端の変位 $h(L_n)$ を示す出力を生じる4個（複数個）の変位センサ70と、4個の変位センサ70の出力 $L_n$ が所定の幾何学的関係を満足するか否か判別し、その判別結果に基づいて4個の変位センサ70の少なくとも1個が異常か否か自己診断する自己診断手段を備える如く構成した。

【0099】即ち、4個の変位センサ70の配置の冗長自由度、即ち、配置の幾何学的な関係を利用し、センサ出力 $L_n$ がその幾何学的な関係を表す式1を近似的に（あるいは正確に）満足しているか否か判断して変位センサ70が異常か否かを自己診断するように構成したので、着地時の衝撃に曝されるロボット1の足部22に変

位センサ70を配置するときも、センサの信頼性を向上させることができる。

【0100】また、幾何学的関係が、複数個の変位センサの中の対向配置された変位センサの出力の差が許容値 $\epsilon$ （具体的には零あるいはその近傍の値、より具体的には零近傍の値）以下である関係である如く構成したので、変位センサ70が異常か否かを容易かつ迅速に自己診断することができ、検出信頼性を向上させることができ。尚、残余の構成および効果は、第1の実施の形態と異なる。

【0101】図6は、この発明の第3の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力を検出装置の動作を示す説明図、より具体的には円筒状弾性体382をモデル化して示す説明図である。

【0102】ロボット1を一層安定に歩行させようすると、足部22の変位を検出するに止まらず、足部22に作用する床反力を検出するのが望ましい。そして、変位センサ70と別に6軸力センサ（床反力検出器）34を設けて足部22に作用する床反力を検出するときも、それとは別に、変位センサ70の出力に基づいて床反力を算出（推定）すれば、異種の検出手段を組み合わせて

$$F_n = -K_a * L_n - K_b * (L_n - X_n) + C \\ D * d(X_n) / dt = K_b * (L_n - X_n) \quad \dots \text{式2}$$

【0107】上記で、先に触れた $L_n$ を除くと、 $F_n$ ：円筒状弾性体382に生じる応力、 $X_n$ ：上記の粘弾性モデルにおける（仮想）ダンバの縮み量（変位量）、 $d(X_n) / dt$ ： $X_n$ の時間微分値、 $K_a$ 、 $K_b$ ：バネ定数、 $D$ ：ダンピング定数、 $C$ ：オフセットを表す定数である（尚、「n」は、4個の円筒状弾性体382aか

$$F_n = -f_1(L_n) - f_2(L_n - X_n) + C \\ D * d(X_n) / dt = f_2 * (L_n - X_n) \quad \dots \text{式2-1}$$

上記で、 $f_1$ 、 $f_2$ は入力に対して単調に増加する関数である。

【0109】図7は足部22の模式図である。第3の実施の形態においては、足部22に作用する床反力を、理解の便宜のため、4個の変位センサ70の配置位置のX、Y方向の中心点を作用点として表現する。より詳しくは、円筒状弾性体382の高さ（自然長）の中点Pをもって作用点と表現するようにした。尚、同図において末端側のリンク32の図示を省略する。

【0110】また6軸力センサ34が検出した床反力の

$$F_{fbz} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \quad \dots \text{式3a} \\ M_{fbx} = \{(F_2 - F_4) * d_1\} / 2 \quad \dots \text{式3b} \\ M_{fy} = \{(-F_1 + F_3) * d_2\} / 2 \quad \dots \text{式3c}$$

【0113】このように、円筒状弾性体382の粘弾性特性を既知とすれば、式2（または式2-1）および式3aから3cの関係が成立するので、変位センサ70の出力に基づいて床反力の中の3（軸力）成分を精度よく算出（推定）することができる（上記以外の成分は、原理的に検出することができない）。尚、上記で、 $d_1$ ：

センサの二重系を構成することができて検出信頼性を向上させることができる。

【0103】さらに、6軸力センサなどは前記したような着地時の衝撃に曝されることから、検出信頼性をさらに向上させる意味で、変位センサの出力に基づいて6軸力センサ34などの劣化あるいは異常を自己診断することが望ましい。

【0104】そこで、第3の実施の形態においては、変位センサ70の出力に基づき、接地する床面から足部22に作用する床反力を算出（推定）すると共に、変位センサ70の出力に基づいて6軸力センサ34などの劣化あるいは異常を自己診断するようにした。

【0105】以下、それについて説明する。尚、この動作も、前記した制御ユニット26で行われる。

【0106】左右の足部22内の円筒状弾性体382の特性（前記した応力特性）は、図6に示すように、バネ定数 $K_b$ のバネ（第1のバネ）と、それに直列に配列されたダンピング定数 $D$ の（仮想）ダンバと、それらに対して並列に配列されるバネ定数 $K_a$ のバネ（第2のバネ）とからなる粘弾性モデルで近似され、その特性を示す式は次式のようになる。

$\text{式2}$   
 $\text{式2-1}$

ら382dのうちのいずれかを意味し、具体的には、 $n = 1 : 382a$ 、 $n = 2 : 382b$ 、 $n = 3 : 382c$ 、 $n = 4 : 382d$ を意味する）。

【0108】尚、円筒状弾性体382の非線形性を考慮し、その特性を以下のように近似しても良い。

並進成分をベクトル $F_{fs}$ とし、そのXYZ各軸方向の力成分をそれぞれ $F_{fsx}$ 、 $F_{fsy}$ 、 $F_{fsz}$ とする。またそれらの軸回りのモーメント成分をベクトル $M_{fs}$ とし、そのXYZ各軸方向成分をそれぞれ $M_{fx}$ 、 $M_{fy}$ 、 $M_{fz}$ とする。

【0111】4個の変位センサ70の検出値から推定される床反力の並進成分のZ軸方向成分を同様にベクトル $F_{fbz}$ 、モーメント成分のXYZ各軸方向成分をそれぞれ $M_{fbx}$ 、 $M_{fy}$ とすると、次式3が成立する。

【0112】

変位センサ70bと70dの間隔（離間距離）、 $d_2$ ：変位センサ70aと70cの間隔（離間距離）を示す。

【0114】円筒状弾性体382を支持する逆Ω字状フレーム381の足底フレーム50に対する相対高さ（足関節18、20に対する足部22の接地端の変位）を $h$ 、X軸まわりの相対傾斜を $\theta_x$ （図示省略）、Y軸ま

わりの相対傾斜を $\theta_y$ とすると、L1, L2, L3, L4と、それらとの関係は、次式4のようになる。

$$h = (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) / 4 \quad \dots \text{式4a}$$

$$\theta_x = (L_2 - L_4) / d_1 \quad \dots \text{式4b}$$

$$\theta_y = (L_3 - L_1) / d_2 \quad \dots \text{式4c}$$

【0115】尚、式4aの代わりに次の式4a-1, 4a-2のいずれかを用いても良いが、計測誤差を考慮すると、上式の方が良い。

$$h = (L_1 + L_3) / 2 \quad \dots \text{式4a-1}$$

$$h = (L_2 + L_4) / 2 \quad \dots \text{式4a-2}$$

【0116】また、床反力の推定は、図8(a)に示すような構成からなるオブザーバ90を用いて行う。オブザーバ90は、式1、式2(または式2-1)、式3a、式3b、式3c、式4a、式4b、式4cを基に、 $h$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ を入力、 $X_n$ を状態量、 $F_{fbz}$ ,  $M_{fbx}$ ,  $M_{fby}$ を出力( $L_n$ は消去される)とする、図示のようなモデル(バネ機構体モデル)を備える。オブザーバ90は、かかる関係に基づき、以下の手順でL1, L2, L3, L4から $F_{fbz}$ ,  $M_{fbx}$ ,  $M_{fby}$ を推定する。

$$\begin{aligned} F_{ferrz} &= F_{fsz} - F_{fbz} \\ M_{ferrx} &= M_{fsx} - M_{fbx} \\ M_{ferry} &= M_{fsy} - M_{fby} \end{aligned}$$

【0120】上記の如くして求めた差が所定の許容範囲内にあるか否か判断することで、6軸力センサ34の異常を検知(自己診断)することができる。

【0121】図9フロー・チャートを参照して以下説明する。同図のプログラムも制御ユニット26において制御周期ごと、例えば10 msecごとに、左右の脚(脚部2)の両方について実行される。

【0122】先ず、S100において変位センサ70が正常と検知(判定)されているか否か判断する。これは、例えば第2の実施の形態の図5フロー・チャートで説明したフラグFのビットを判断することで行う。S100で否定されるときは以下に述べる異常検知が実行できないことから、プログラムを直ちに終了する。尚、この場合、異常検知が実行できないことから、ロボット1が歩行中であれば、可能ならば、動力学的平衡条件を満足しつつ、短時間の内に歩行を終了させるのが望ましい。

【0123】S100で否定されるときはS102に進み、差 $F_{ferrz}$ が第1の $F_z$ 許容値 $F_{refz1}$ 以上で、第2の $F_z$ 許容値 $F_{refz2}$ 未満か否か判断し、肯定されるときはS104に進み、差 $M_{ferrx}$ が同様に第1の $M_x$ 許容値 $M_{refx1}$ 以上で、第2の $M_x$ 許容値 $M_{refx2}$ 未満か否か判断する。S104でも肯定されるときはS106に進み、差 $M_{ferry}$ が同様に第1の $M_y$ 許容値 $M_{refy1}$ 以上で、第2の $M_y$ 許容値 $M_{refy2}$ 未満か否か判断する。

【0117】先ず、図示のモデルの状態量 $X_n$ を初期化する。これは、足部22に床反力が作用していないときの変位センサ検出値の理論値と一致させるか、ロボット1の直立時に足部22に床反力が作用したときの変位センサ検出値の理論値と一致させることで行う。理論値は、具体的には、初期化を行うときのロボット1の足部22に作用する床面の想定値に応じて決定する。尚、状態量 $X_n$ は収束性があるので、その初期化した値に多少のばらつきが生じても問題ない。

【0118】次いで、式4a、式4bおよび式4cに変位センサ検出値 $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$ を代入し、 $h$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ を求め、図示のモデルを用い、脚部2のそれぞれについて $F_{fbz}$ ,  $M_{fbx}$ ,  $M_{fby}$ を算出する。

【0119】次いで、算出した $F_{fbz}$ ,  $M_{fbx}$ ,  $M_{fby}$ と、6軸力センサ34が検出した床反力のそれぞれ対応する成分 $F_{fsz}$ ,  $M_{fsx}$ ,  $M_{fsy}$ との差 $F_{ferrx}$ ,  $M_{ferrx}$ ,  $M_{ferry}$ を次式5に従って求める。

... 式5

【0124】S106(あるいはS102, S104のいずれか)で否定されるときはS108に進み、カウント値Cを1つインクリメントし、S110に進み、カウント値Cが適宜設定された所定値 $Cref$ を超えるか否か判断する。尚、このカウント値Cは、制御ユニット26の前記したバックアップ部に格納しておき、制御ユニット26への通電が停止された後も、保持されるように構成する。

【0125】S110で肯定されるときはS112に進み、変位センサ70、6軸力センサ34および円筒状弹性体382(より詳しくは円筒状弹性体382の少なくとも1つ)の中の少なくともいずれかが劣化と判定すると共に、警告灯を点灯し、表示装置にその内容を表示する。尚、S110で否定されるときはS112をスキップする。

【0126】S106で肯定されるときはS114に進み、差 $F_{ferrz}$ が第3の $F_z$ 許容値 $F_{refz3}$ 以上で、第4の $F_z$ 許容値 $F_{refz4}$ 未満か否か判断し、肯定されるときはS116に進み、差 $M_{ferrx}$ が同様に第3の $M_x$ 許容値 $M_{refx3}$ 以上で、第4の $M_x$ 許容値 $M_{refx4}$ 未満か否か判断する。S116でも肯定されるときはS118に進み、差 $M_{ferry}$ が同様に第3の $M_y$ 許容値 $M_{refy3}$ 以上で、第4の $M_y$ 許容値 $M_{refy4}$ 未満か否か判断する。

【0127】S118で肯定されるときはS120に進み、6軸力センサ34が正常と判別すると共に、S11

4, S116, S118のいずれかで否定されるときはS122に進み、6軸力センサ34に断線などの異常が生じたと判定すると共に、警告灯を点灯し、表示装置にその内容を表示する。

【0128】即ち、差がそれぞれ劣化判別許容範囲より狭い許容範囲内にないことは、差が劣化では生じ得ないような値となつたことを意味する。この場合も、可能性としては、原因は変位センサ70、6軸力センサ34および円筒状弾性体382のいずれかにも生じ得るが、変位センサ70についてはS100の判断を経ていると共に、変位センサ70に比して6軸力センサ34は機構が複雑なことから、劣化以外の異常が発生すると、一気に許容範囲を超えた値を出力する傾向がある。そこで、S114からS118のいずれかで否定されるときは、6軸力センサ34が異常と判別（自己診断）するようにした。

【0129】尚、前記した第1および第2の許容値は、変位センサ70などの劣化を判別するに足る値を適宜選択して設定する。ここで、『劣化』とは、言うまでもなく、正常ではないものの、異常（故障）まで到らない程度を意味し、従つて変位センサ70に関しても、S100で肯定されてはいるが、その可能性を否定できないことから、S112の判断対象に含めた。

【0130】また、S114からS118で使用される第3および第4の許容値は、それらによって規定される許容範囲が、S102からS106で起用される第1および第2の許容値で規定される許容範囲に比して狭くなるように設定すると共に、6軸力センサ34の異常を判別するに足る値を適宜選択して設定する。

【0131】尚、S122で6軸力センサ34が異常と判定されたときは、前記した複合的なコンプライアンス制御あるいは床面の形状推定において、6軸力センサ34の出力に代え、変位センサ70の出力から推定された床反力を使用すると共に、歩行中であれば、動力学的平衡条件を満足しつつ、できる限り短時間の内に歩行を終了させることとする。

【0132】また、6軸力センサ出力に代えて変位センサ出力による推定値を用いる際には、複合的なコンプライアンス制御あるいは床面の形状推定のゲインや補償回路の特性を変えることが望ましい。変位センサ70の出力から推定された床反力は、6軸力センサ34の検出値に比較すれば、若干応答性が低下するからである。

【0133】また、S102からS106およびS114からS118において、差をローパスフィルタ（図示せず）を通して得た値の絶対値を求め、その値を同様に予め実験により求めた適宜な値と比較しても良い。また、S114からS118で否定された回数をカウントし、カウント値を適宜な値と比較して6軸力センサ34が異常か否か判別するようにしても良い。さらに、S102からS106およびS114からS118において

算出値と検出値の差を用いたが、算出値と検出値の比を用いても良い。

【0134】第3の実施の形態においては上記の如く、足関節18, 20と足部22の接地端の間に配置された円筒状弾性体382の内部に設けられ、足関節18, 20に対する足部22の接地端の変位を示す出力を生じる変位センサ70を備えると共に、オブザーバ90を備え、オブザーバ90は、上記した変位によって円筒状弾性体382に生じる変位と応力F<sub>n</sub>を記述するモデルを用い、変位センサ70の出力L<sub>n</sub>に基づいて足部22に作用する床反力F<sub>f b z</sub>（鉛直軸方向に作用する力成分）、M<sub>f b x</sub>, M<sub>f b y</sub>（鉛直軸に直交する軸回りのモーメント成分）を算出するように構成したので、床反力を精度良く算出することができ、ロボット1を安定に歩行させることができるとなる。

【0135】また、そのモデルが、バネ定数K<sub>b</sub>のバネと、それに直列に配列されるダンピング定数Dのダンパーと、それらに対して並列に配列されるバネ定数K<sub>a</sub>のバネとからなるように構成したので、即ち、円筒状弾性体382のダンピング定数（特性）Dまで考慮したモデルを用いるように構成したことから、周波数特性に優れた床反力の推定値を得ることができ、換言すれば床反力の算出を応答性良く行うことができる。

【0136】さらに、オブザーバ90によってダンパーの変位X<sub>n</sub>を推定することによって前記床反力を推定するように構成したので、より一層精度良く床反力を算出することができる。

【0137】また、足関節18, 20と足部22の接地端の間に、前記ロボットが接地する床面から足部22に作用する床反力を示す出力を生じる6軸力センサ（第2の床反力検出器）34を配置するように構成したので、異種の床反力検出手段を組み合わせてセンサの二重系を構成することができて検出信頼性を向上させることができる。

【0138】また、変位センサ70の出力から算出される床反力と6軸力センサ34の出力から検出される床反力に基づいて、より具体的にはそれらの差F<sub>f err z</sub>, M<sub>f err x</sub>, M<sub>f err y</sub>に基づいて変位センサ70および6軸力センサ34ならびに円筒状弾性体382の少なくともいずれかが劣化あるいは異常か否か自己診断する如く構成したので、それらの劣化あるいは異常を簡易にかつ迅速に自己診断することができて検出信頼性をさらに向上させることができる。

【0139】そして、劣化あるいは異常と判定されたときは警告灯を点灯し、その内容を表示装置に表示するように構成したので、操作者にその事実を報知することができる。また6軸力センサ34が正常と自己診断されたときは6軸力センサ34の出力による床反力検出を続行すると共に、6軸力センサ34が異常と自己診断されたときは動力学的平衡条件を満足しつつ、歩行を短時間の

内に終了するなど適宜に対応することが可能となる。

【0140】尚、第3の実施の形態において、上記したバネ機構体モデルに関し、 $X_n$ を状態量とする代わり

$$hst = (X_1 + X_2 + X_3 + X_4) / 4 \quad \dots \text{式6a}$$

$$\theta stx = (X_2 - X_4) / d_1 \quad \dots \text{式6b}$$

$$\theta sty = (X_3 - X_1) / d_2 \quad \dots \text{式6c}$$

$$X_1 + X_3 - X_2 - X_4 = 0 \quad \dots \text{式7}$$

【0141】そして、式1、式2(式2-1)、式3a、式3b、式3c、式4a、式4b、式4c、および式6a、式6b、式6cを基に、図8(b)に示す如く、オブザーバ90は、 $h$ 、 $\theta x$ および $\theta y$ を入力、 $hst$ 、 $\theta stx$ 、 $\theta sty$ を状態量、 $F_{fbz}$ 、 $M_{fbx}$ 、 $M_{fby}$ を出力とするモデル(バネ機構体モデル)を用いても良い。

【0142】尚、この場合、状態量が1つ減るが、問題はない。何故ならば、式2のように線形性が成立していると、 $d(X_1) / dt : d(X_2) / dt : d(X_3) / dt : d(X_4) / dt$ の比は、初期状態の如何に関わらず、経時に(具体的には、式2で表されるバネ機構体の時定数より十分長い時間が経過すれば)、 $d(L_1) / dt : d(L_2) / dt : d(L_3) / dt : d(L_4) / dt$ の比に収束し、式7の従属関係がほぼ成立するからである。従って、独立変数を1つ減らしても支障ないものである(但し、式2-1を用いた場合には、非線形となって上記した性質を持たないので、図8(b)の示す形式のバネ機構体モデルを作成することができない)。

【0143】また、第3の実施の形態において、温度センサを設け、検出された温度に応じてバネ定数 $K_a$ 、 $K_b$ およびダンピング定数 $D$ を補償するようにしても良い。

【0144】図10は、この発明の第4の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置、より具体的にはその脚式移動ロボットの足部の構成を示す、図3と同様な足部22R、Lのうち、左脚の足部22Lの底面図である。

【0145】第4の実施の形態においては、図10を図3と対比すれば明らかに、円筒状弾性体382の配置を、図3に示す状態から45度だけ右に回転させたものである。第1の実施の形態の構成に幾何学的な回転変換を施しただけであるので、残余の構成および効果は、第1の実施の形態と異なる。

【0146】尚、第4の実施の形態および第1の実施の形態において、演算を容易にするため、変位センサ70を内蔵する円筒状弾性体382の対向する同士の離間距離が等間隔となるように、即ち、図10および図3においてそれらを結ぶ線(2点鎖線)が形づくる形状が正方形をなすように構成したが、対向する同士の離間距離のみ等間隔とした長方形にても良く、さらには対向する同士の離間距離も異なる台形とするなど、どのような形

に、以下の式6a、式6bおよび式6cから決定される値( $st$ を付して示す)を用いても良い。即ち、 $hst$ 、 $\theta stx$ 、 $\theta sty$ を状態量として用いても良い。

$$hst = (X_1 + X_2 + X_3 + X_4) / 4 \quad \dots \text{式6a}$$

$$\theta stx = (X_2 - X_4) / d_1 \quad \dots \text{式6b}$$

$$\theta sty = (X_3 - X_1) / d_2 \quad \dots \text{式6c}$$

$$X_1 + X_3 - X_2 - X_4 = 0 \quad \dots \text{式7}$$

状としても良い。さらには変位センサ70の個数も4個に限られるものではなく、5個以上であっても良い。

【0147】図11は、この発明の第5の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置、より具体的にはその脚式移動ロボットの足部の構成を示す、図3と同様な足部22R、Lのうち、左脚の足部22Lの底面図である。

【0148】第5の実施の形態においては、同図に示すように、6軸力センサ34を3個の円筒状弾性体382(382a、382b、382c)によって形成される三角形の重心付近にZ軸方向感度中心線Zcが位置するように配置して検出精度を向上させると共に、円筒状弾性体のそれぞれに1個づつ、変位センサ70a、70b、70cを配置するようにした。

【0149】変位センサ70の個数が3個であることから、変位センサ70の異常を検知(自己診断)することができない。その意味で、第1および第2の実施の形態を簡易にしたものである。ただし、3個の変位センサ70で面を形成することができるため、前記した3軸について床反力を推定(算出)することは可能である。

【0150】尚、第5の実施の形態では変位センサ70の個数を3個とすると共に、第1から第4の実施の形態では4個としたが、それらに限られるものではない。変位センサ70の個数は、最小限1個であっても足りる。但し、その場合は床反力の中、鉛直軸方向の力成分(前記した $F_{fbz}$ )しか推定(算出)することができないと共に、第2の実施の形態で述べた異常検知を行うことはできない。

【0151】また変位センサ70の個数を2個とすれば、床反力の中、鉛直軸方向の力成分(前記した $F_{fbz}$ )に加え、2個の変位センサ70を結ぶ直線に直交する水平軸回りのモーメントを検出(算出)することができる。さらに、3個とすれば、上で述べたように床反力の3軸力成分を推定(算出)することができる。

【0152】図12は、この発明の第6の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置、より具体的にはその脚式移動ロボットの足部22の側面縦断面図である。また図13は、図12に示す足部22の底面の模式図である。

【0153】第6の実施の形態においては、図10に示す第4の実施の形態の構成において、足関節18、20と足部22の接地端の間に4個の円筒状弾性体382を配置すると共に、検出素子と変換部からなる変位センサ

70を4個の円筒状弾性体382のそれぞれの上下端で規定される空間内、より具体的には、円筒状弾性体382に内蔵されることなく、その付近（より詳しくは、対向する2個の円筒状弾性体382を結ぶ直線上）に配置し、よって足関節18、20に対する足部22の接地端の変位を検出可能に構成した。

【0154】図12に示す如く、変位センサ70は、第1の実施の形態と同様にプレート状の静電容量式の感圧センサ701と、それに対向配置されたプレート状体702と、感圧センサ701とプレート状体702の間に弾装されて感圧センサ701に圧力を加えるスプリング703からなる。感圧センサ701の内部には検出素子および変換部（共に図示せず）が一体的に内蔵され、変換部の出力はハーネス704から取り出され、制御ユニット26に送られる。変位センサ70はハウジング706内に気密に、換言すれば、密閉される空間内に収容される。

【0155】第6の実施の形態は上記の如く構成したので、第1の実施の形態と同様、スペース的に制約のある脚式移動ロボットの足部の弾性体に変換部などの構成要素も含めてセンサをコンパクトに収納することができる。

【0156】尚、第6の実施の形態において、変位センサ70の配置例は図14に示すようにしても良い。即ち、変位センサ70は、隣接する2個の円筒状弾性体382を結ぶ直線（図示せず）の上に配置しても良い。さらには、図15に示すように、変位センサ70の個数は、円筒状弾性体382の個数と異なっても良い。尚、残余の構成および効果は、第1の実施の形態などの従前の実施の形態と異ならない。

【0157】図16は、この発明の第7の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置、より具体的にはその脚式移動ロボットの足部の構成を示す、図2と同様な足部22R、Lのうち、左脚の足部22Lの側面縦断面図である。

【0158】第7の実施の形態においては、6軸力センサ34を除去し、4個の円筒状弾性体382のそれぞれに変位センサ70を内蔵させる（配置する）ようにした。従って、第7の実施の形態においても、変位センサ70の自己診断が行われると共に、変位センサ70の出力から推定される床反力のみが制御ユニット26に送られ、その推定値に基づいて制御が行われる。尚、残余の構成および効果は、この実施の形態では逆Ω字状フレーム381と末端側のリンク32が下部固定用ボルト58によって締結される点を除くと、従前の実施の形態と異ならない。

【0159】図17は、この発明の第8の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置の構成を示す説明図である。

【0160】第8の実施の形態においては、第3の実施

の形態の構成に、適応オブザーバを追加するようにした。即ち、前記した円筒状弾性体382の粘弾性特性は温度依存性が高く、式2で述べた粘弾性モデルにおいてバネ定数Ka、Kbやダンピング定数Dなどは、温度によって大きく変化する。また、円筒状弾性体382の長期間使用によっても、バネ定数Ka、Kbやダンピング定数Dなどは経時に変化（劣化）する。この場合、温度センサを追加して測定値で温度補償を行うのは構成を複雑にすると共に、後者の経時変化には無力である。

【0161】従って、式2のパラメータ（Ka、Kb、D）を定数として扱うと、上記した温度依存性あるいは経時変化によって変位センサ70を用いた床反力の推定（算出）に誤差が生じる。

【0162】上記の点に鑑み、第8の実施の形態においては、かかるパラメータを適応オブザーバを用いて自動同定し、よって得た推定状態値から床反力を推定（算出）することで変位センサ70による床反力の推定精度を向上させるようにした。

【0163】また、第1の実施の形態で変位センサ70の異常を自己診断すると共に、第3の実施の形態において円筒状弾性体382や変位センサ70などの劣化あるいは6軸力センサ34の異常を自己診断するようにしているが、第8の実施の形態においては、それとは別に、さらにバネ定数Ka、Kbやダンピング定数Dを示すモデルのパラメータを適応オブザーバを用いて自動同定し、よって得たパラメータ同定値からも円筒状弾性体382の劣化などをより精度良く自己診断するようにした。

【0164】適応オブザーバは、システム周囲の環境変化によってパラメータ値が変化する、あるいはパラメータ値を正確に求めることができない場合に対応してオブザーバの内部に未知パラメータを自動的に同定する同定機構を備えるようにしたものであり、図17に示すような構成からなる。尚、図示の適応オブザーバは公知のものであって、例えば、「現代制御シリーズ オブザーバ」コロナ社（昭和63年10月）に記載されている。

【0165】以下、同図を参照して説明すると、適応オブザーバ100は、入力値を状態変数とする状態変数フィルタ、未知パラメータ同定器、出力推定器および状態推定器からなる。尚、前記したように6軸力センサ34および変位センサ70は左右の脚にそれぞれ設けられることから、適応オブザーバ100も、左右それぞれの脚に対応するオブザーバ、具体的には右脚用適応オブザーバ100R、および左脚用適応オブザーバ100Lが設けられる。ただし、各適応オブザーバは、入力値こそ異なるものの、それらの内部で行なわれる演算自体は同様なため、図17にあってはR、Lを省略して説明する。

【0166】適応オブザーバ100には、6軸力センサ34の出力の中の、変位センサ70から推定される、式3から得られる3軸成分F<sub>f b z</sub>、M<sub>f b x</sub>、M<sub>f b y</sub>

に対応する  $F_{fsz}$ ,  $M_{fsx}$ ,  $M_{fsy}$  が入力されると共に、式4から得られる、円筒状弾性体382を支持する逆Ω字状フレーム381の足底フレーム50に対する相対高さ（足関節18, 20に対する足部22の接地端の変位） $h$ 、X軸まわりの相対傾斜 $\theta_x$ （図示省略）、Y軸まわりの相対傾斜 $\theta_y$ が入力される。

【0167】尚、 $h$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ は、式4を用いて円筒状弾性体382の縮み量 $L_n$ （変位センサ70によって検出された値）から算出される。

【0168】適応オブザーバ100において、未知パラメータ同定器は、状態変数 $z$ に基づいた同定パラメータとしてバネ定数 $K_a$ ハット、 $K_b$ ハットおよびダンピング定数 $D$ ハットを同定する。また、出力推定器は状態変数 $z(t)$ と同定パラメータを受け取り、推定出力として前記した3軸力成分 $F_{fbz}$ ハット、 $M_{fbx}$ ハット、 $M_{fby}$ ハットを出力する。

【0169】出力推定器の推定出力 $F_{fbz}$ ハット、 $M_{fbx}$ ハット、 $M_{fby}$ ハットは加減算段102に送られ、そこで6軸力センサ出力 $F_{fsz}$ ,  $M_{fsx}$ ,  $M_{fsy}$ が減算されて出力推定誤差 $F_{ferrz}$ ,  $M_{ferrx}$ ,  $M_{ferry}$ が算出される。算出された出力推定誤差は、一方ではそのまま出力されると共に、他方では未知パラメータ同定器に入力される。また、状態推定器も状態変数 $z(t)$ と同定パラメータ $K_a$ ハット、 $K_b$ ハット、 $D$ ハットを受け取り、前記した $h_{st}$ ,  $\theta_{stx}$ ,  $\theta_{sty}$ の推定値である推定状態値 $h_{st}$ ハット、 $\theta_{stx}$ ハット、 $\theta_{sty}$ ハットを算出する。

【0170】このように、適応オブザーバ100は、式2で用いられるパラメータ( $K_a$ ,  $K_b$ ,  $D$ )を自動同定し、それに基づいて式3および式4で算出される値を算出する。尚、この明細書において、ハットを付した値は推定値を示す。

【0171】ここで、6軸力センサ34が正常に動作している場合、未知パラメータ同定器は、入力値から求められる状態変数 $z(t)$ と出力推定誤差 $F_{ferrz}$ ,  $M_{ferrx}$ ,  $M_{ferry}$ に基づいてバネ定数 $K_a$ ,  $K_b$ およびダンピング定数 $D$ を同定するので、円筒状弾性体382の粘弾性特性が周囲温度の増減に応じて変化しても、その変化を同定することができる。従って、推定出力を推定床反力とすることで、変位センサ70の床反力推定精度を向上させることができる。さらに、適応オブザーバ100で同定されるパラメータを用いて円筒状弾性体382の劣化などを検知（自己診断）することができる。

【0172】図18は、その動作を示すフロー・チャートである。図示のプログラムも制御ユニット26において制御周期ごと、例えば10msecごとに実行される。

【0173】以下説明すると、S200において電源立ち上げ直後、即ち、通電して作動開始してから微少時間

以内か否か判断し、肯定されるときはS202に進み、新しい円筒状弾性体382か否か判断する。尚、円筒状弾性体382が交換されたときは、前記したバックアップ部の適宜なフラグのビットが1にセットされるものとし、ここではそのフラグを参照して判断する。

【0174】S202で肯定されるときはS204に進み、パラメータ、即ち、バネ定数 $K_a$ ,  $K_b$ とダンピング定数 $D$ の初期化を行う。即ち、パラメータを、新品の、換言すれば、全く劣化していない状態の円筒状弾性体382が備えるであろう値に設定する。次いでS206に進み、パラメータ許容範囲を設定する。パラメータ許容範囲は、設定されたパラメータに所定値を加減算した、あるいは所定の比率を乗じて得た上下限の値として設定、即ち、設定値（あるいは前回値）からの変化の許容値として設定する。また、上記したフラグ（円筒状弾性体382が新品に交換されたときに1にセットされるフラグ）を0にリセットする。

【0175】他方、S202で否定されるときはS208に進み、バックアップ部に記憶していたパラメータ値、即ち、前回の歩行で得た最後のパラメータ推定値を適応オブザーバのパラメータ初期値として設定し、パラメータの許容範囲には前回設定されていた値を設定する。

【0176】次いでS210に進み、運動中か否か判断する。ここで『運動中』とは、歩行などの重心移動を伴う運動動作を行なっている状態を言う。S210で肯定されるときはS212に進み、左右の脚（脚部2）のうち、どちらの脚が支持脚か否か判断し、右脚と判断されるときはS214に進み、右脚用適応オブザーバ100Rの未知パラメータ同定器の演算を行なう。また、左脚と判断されるときはS216に進み、左脚用適応オブザーバ100Lの未知パラメータ同定器の演算を行なう。

【0177】このように、未知パラメータ同定器の演算（同定パラメータ $K_a$ ハット、 $K_b$ ハット、 $D$ ハットの更新）は、運動中の支持脚期に実行するようにした。これは、適応オブザーバへの入力値（変位センサ70および6軸力センサ34の検出値）の変動が小さいときは適応オブザーバの推定精度が低下するためである。尚、推定精度の多少の低下を許容するならば、支持脚期、遊脚期に関わらず、両脚同時に未知パラメータ同定器の演算を実行するようにしても良い。あるいは、遊脚期など、適応オブザーバへの入力の変動が小さいときには、パラメータ推定ゲインを小さくするようにしても良い。

【0178】次いでS218に進み、パラメータ推定値、即ち、同定されたパラメータ $K$ ,  $D$ が、S206あるいはS208で設定された許容範囲内にあるか否か判断し、否定されるときはS220に進み、円筒状弾性体382などが劣化あるいは異常と判断（自己診断）して短時間内に歩行を停止すると共に、警告灯を点灯し、その内容を表示装置に表示する。

【0179】また、円筒状弾性体382は徐々に（経時的に）劣化することから、同定されたパラメータKa, Kb, Dが許容範囲内ないときは、過去の適宜なプログラムループ時（図17のtに相当）の変化量も勘案し、変化量が徐々に増大していくこのプログラムループで許容範囲内にないと判断される場合、対応する脚側の円筒状弾性体382が劣化したと判断することで、より精度の高い異常判断を行なうことができる。

【0180】他方、先にも述べたように、6軸力センサ34は機構が複雑なことから、劣化以外の異常が生じると一気に許容範囲を超えた値を出力する傾向があるので、過去の適宜なプログラムループ時の変化量が比較的微少であるにも関わらず、このプログラムループで許容範囲内にないと判断されるときは、6軸力センサ34に断線などの異常が生じたと判断する。尚、S220の処理においては、第2あるいは第3の実施の形態の異常検知も併用し、その結果を考慮して判断するようにしても良い。

【0181】次いでS222に進み、左右の脚について未知パラメータ同定器以外のオブザーバ演算を行なう。即ち、ロボット1が運動中であれば、更新された同定パラメータKaハット, Kbハット, Dハットに基づいて前記した出力推定値、即ち、変位センサ70の出力に基づく床反力推定値Ffbzハット, Mfbxハット, Mfbyハットを算出する。他方、ロボット1が運動中でないときは、同定パラメータを更新しないで、換言すれば、前回推定値を用いてオブザーバ演算を行い、床反力推定値Ffbzハット, Mfbxハット, Mfbyハットを算出する。

【0182】尚、算出した床反力に基づいて前記した複合的なコンプライアンス制御などを行う場合、各脚別の算出値をそのまま使用すると、パラメータの推定誤差によって左右のバランスを崩す恐れがあることから、各脚別の算出値の平均を求めるなどして共通化（同一化）するのが望ましい。尚、それに関しては次の実施の形態述べる。

【0183】続いてS224に進み、求めたパラメータ値をバックアップ部に記憶して終了する。尚、この処理は、通電が停止される直前に行っても良い。

【0184】第8の実施の形態は上記の如く、足関節18, 20と足部22の接地端の間に配置された円筒状弾性体382の内部およびその付近の少なくともいざれか、より詳しくはその内部に設けられ、前記関節に対する前記足部の接地端の変位を示す出力を生じる変位センサ70と、変位センサ70の出力h, θx, θyと6軸力センサ34の出力から検出された床反力Ffsz, Mfsx, Mfsyを基に変位センサ70の出力から推定される床反力Ffbzハット, Mfbxハット, Mfbyハットと6軸力センサ34の出力から検出された床反力との差である床反力推定誤差Fferrz, Mfer

rx, Mferryと求めると共に、前記モデルのパラメータ値Ka, Kb, Dを同定する適応オブザーバ100を備える如く構成したので、ロボット1の足部22に6軸力センサ34を設けて床反力を検出すると共に、それとは別に足部22に粘弾性特性を利用した変位センサ70を配置して床反力を算出（推定）するとき、温度センサを設けることなく、円筒状弾性体382の温度ドリフトや劣化による粘弾性特性の変化を推定することができ、よって検出精度を向上させることができる。

【0185】さらに、パラメータ推定値および出力推定誤差に基づき、円筒状弾性体382および6軸力センサ34の劣化、あるいは6軸力センサ34の異常を自己診断するように構成したので、検出信頼性を向上させることができる。

【0186】尚、上記したS218の処理において、円筒状弾性体382のパラメータKa, Kb, Dの温度特性を求めて予め記憶しておく、それを考慮してパラメータ推定値が許容範囲内にあるか否か判断するようにしても良い。即ち、円筒状弾性体あるいはその縁部の温度を測定し、測定値に応じて許容範囲を補正すると共に、パラメータ推定値が補正した許容範囲内にあるか否か判断することで、劣化（あるいは異常）をより一層精度良く判定することができる。

【0187】さらに、パラメータ推定値が許容範囲内にあるか否か判断するのとは別に、各脚のパラメータ推定値同士を比較して左右度を判定しても良い。この場合、円筒状弾性体382の温度依存性の影響を受けることなく、その劣化を判定することができるが、左右の脚についての劣化が同程度であると判定することができないので、あくまでも補助的な判定手法である。

【0188】また、適応オブザーバ100を左右それぞれの脚、即ち、足部22に対応して設け、右脚用適応オブザーバ100R、および左脚用適応オブザーバ100Lとしたが、前記したようにそれらの内部で行なわれる演算自体は同様なため、全ての脚、即ち、2本の脚（足部22）について1個の適応オブザーバを備えるようにしても良い。この場合、例えばS212の判断に基づき、適応オブザーバ100に入力すべき値を左右の脚部のいずれかから選択するようにすれば良い。

【0189】図19は、この発明の第9の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置の構成、より具体的にはそこで使用される適応オブザーバの構成を示す説明図である。

【0190】第9の実施の形態は第8の実施の形態の変形例であり、左右の適応オブザーバ100R, 100Lの各未知パラメータ同定器のパラメータ推定値をパラメータ共通化処理ブロック104において共通の値とし、共通化されたパラメータ推定値に基づいて各脚用の出力推定誤差を算出するように構成した。

【0191】以下、図20を参照して説明すると、右脚

用適応オブザーバ100Rの未知パラメータ同定器から出力されるパラメータ推定値の変更分（今回値と前回値の差分） $\Delta K_{aR}$ ,  $\Delta K_{bR}$ ,  $\Delta D_R$ と、左脚用適応オブザーバ100Lの未知パラメータ同定器から出力されるパラメータ推定値の変更分 $\Delta K_{aL}$ ,  $\Delta K_{bL}$ ,  $\Delta D_L$ しがパラメータ共通化処理ブロック104に入力される。

【0192】パラメータ共通化処理ブロック104では、各出力値の重み付き平均（ $\alpha$ を0.5として単純平均としても良い） $\Delta K_{ave}$ ,  $\Delta K_{bave}$ ,  $\Delta D_{ave}$ を求め、それらをパラメータ推定値の前回値に加算して今回のパラメータ推定値（更新値） $K_a$ ハット,  $K_b$ ハット,  $D$ ハットを決定すると共に、決定した $K_a$ ハット,  $K_b$ ハット,  $D$ ハットを左右の適応オブザーバ100R, 100Lに出力する。

【0193】左右の適応オブザーバ100R, 100Lでは、この共通化されたパラメータ推定値に基づいて各脚の床反力推定値を算出し、さらにそれらに基づいて出力推定誤差を算出する。このように、パラメータ推定値を共通化することで、左右パラメータの差に起因する歩行時の不安定化を防止することができる。

【0194】尚、重み付き平均を算出するときは、遊脚側に比して支持脚側の重みを大きくする（右脚が遊脚期のときは $\alpha$ を大きく、左脚が遊脚期のときは $\alpha$ を小さくする）ことが望ましい。これは、前記したように遊脚期は適応オブザーバへの入力の変動が小さく、よって推定精度が低下するためである。

【0195】第9の実施の形態は上記の如く構成したので、第8の実施の形態に比して構成は若干複雑となるものの、各脚についての推定精度および劣化などの自己診断精度を向上させることができる。尚、残余の構成および効果は、第8の実施の形態と異ならない。

【0196】このように、第1から第9の実施の形態にあっては、少なくとも上体24と、前記上体に第1の関節（股関節10, 12, 14）を介して連結される複数本の脚部2を備えると共に、前記脚部の先端に第2の関節（足関節18, 20）を介して連結される足部22を備えた脚式移動ロボット1において、前記第2の関節と前記足部の接地端の間に弾性体（円筒状弾性体382）を配置すると共に、変位センサ、より具体的には検出素子と変換部からなる変位センサ70を前記弾性体の上下端 $h_t$ で規定される空間内に配置し、よって前記第2の関節に対する前記足部の接地端の変位 $h(L_n)$ を検出可能に構成した。

【0197】また、前記第2の関節と前記足部の接地端の間に前記弾性体（円筒状弾性体382）を複数個（3個あるいは4個）、上面視において局部的に配置するよう構成した。

【0198】また、第1の実施の形態などにおいて前記変位センサ、より具体的には検出素子と変換部からなる

変位センサ70を前記弾性体（円筒状弾性体382）に内蔵させ、よって前記第2の関節に対する前記足部の接地端の変位を検出可能に構成した。

【0199】また、第6の実施の形態において、前記変位センサ、より具体的には検出素子と変換部からなる変位センサ70を前記弾性体（円筒状弾性体382）の附近に配置し、よって前記第2の関節に対する前記足部の接地端の変位を検出可能に構成した。

【0200】また、前記複数個の弾性体（円筒状弾性体382）を上面視において前記足部22の縁部に配置するよう構成した。

【0201】また、前記変位センサ70が、密閉される空間内に収容されるように構成した。

【0202】また、前記変位センサ70が、バネ（スプリング703）および感圧センサ701からなるように構成した。

【0203】また、前記バネ（スプリング703）の剛性を前記弾性体（円筒状弾性体382）の剛性に比して小さく設定するよう構成した。

【0204】また、少なくとも上体24と、前記上体に第1の関節（股関節10, 12, 14）を介して連結される複数本の脚部2を備えると共に、前記脚部の先端に第2の関節（足関節18, 20）を介して連結される足部22を備えた脚式移動ロボット1において、前記第2の関節に接続される第1の剛性体（逆Ω字状フレーム381）と、前記足部の接地端に接続される第2の剛性体（足底プレート50）とで規定される空間内に、上面視において相互に離間して配置されて前記第2の関節に対する前記足部の接地端の変位 $h(L_n)$ を示す出力を生じる複数個の変位センサ70、前記複数個の変位センサの出力 $L_n$ が所定の幾何学的関係を満足するか否か判別する判別手段（制御ユニット26, S12）、および前記判別手段の判別結果に基づいて前記複数個の変位センサの少なくとも1個が異常か否か自己診断する自己診断手段（制御ユニット26, S14）を備える如く構成した。

【0205】また、前記幾何学的関係は、前記複数個の変位センサ70の中の対向配置された変位センサの出力の差が所定の値である関係である如く構成した。

【0206】また、前記所定の値は、零あるいはその近傍の値である如く構成した。

【0207】また、前記第1および第2の剛性体で規定される空間内に弾性体（円筒状弾性体382）を上面視において相互に離間させつつ複数個配置すると共に、その内部に前記変位センサ70を内蔵させる如く構成した。

【0208】また、前記第1および第2の剛性体で規定される空間内に弾性体（円筒状弾性体382）を上面視において相互に離間させつつ複数個配置すると共に、その付近に前記変位センサ70を配置するよう構成し

た。

【0209】第3の実施の形態などにあっては、少なくとも上体24と、前記上体に第1の関節（股関節10, 12, 14）を介して連結される複数本の脚部2を備えると共に、前記脚部の先端に第2の関節（足関節18, 20）を介して連結される足部22を備えた脚式移動ロボット1において、前記第2の関節と前記足部の接地端の間に配置された弾性体（円筒状弾性体382）の内部および前記弾性体の付近の少なくともいすれかに設けられ、前記第2の関節に対する前記足部の接地端の変位 $h$ （ $L_n$ ）を示す出力を生じる変位センサ70、および前記変位に応じて前記弾性体に生じる変位 $h$ （ $L_n$ ）と応力 $F_n$ の関係を記述するモデルを用い、前記変位センサの出力に基づいて前記足部に作用する床反力 $F_{fbz}$ ,  $M_{fbx}$ ,  $M_{fby}$ を算出する床反力算出手段（制御ユニット26）を備える如く構成した。

【0210】また、前記モデルは、第1のバネ（図6に示すバネ定数 $K_b$ のバネ）と、前記第1のバネに直列に配列されるダンパ（ダンピング定数 $D$ のダンパ）と、前記第1のバネおよびダンパに対して並列に配列される第2のバネ（バネ定数 $K_a$ のバネ）とから記述される如く構成した。

【0211】また、前記床反力算出手段は、前記ダンパの変位 $X_n$ を推定することによって前記床反力を推定するオブザーバ90を備える如く構成した。

【0212】また、前記床反力算出手段が算出する床反力が、少なくとも鉛直軸方向に作用する力成分 $F_{fbz}$ を含むように構成した。

【0213】また、前記変位センサが上視面において局部的に複数個配置されると共に、前記床反力算出手段は、前記複数個の変位センサのそれぞれの出力に基づいて前記床反力を算出するように構成した。

【0214】また、前記床反力算出手段が算出する床反力が、鉛直軸方向に作用する力成分 $F_{fbz}$ と、前記鉛直軸に直交する軸回りのモーメント成分 $M_{fbx}$ ,  $M_{fby}$ を含むように構成した。

【0215】また前記第2の関節（足関節18, 20）と前記足部の接地端の間に、前記ロボットが接地する床面から前記足部に作用する床反力 $F_{fsx}$ ,  $M_{fsx}$ ,  $M_{fsy}$ を示す出力を生じる第2の床反力検出器（6軸力センサ34）を配置するように構成した。

【0216】さらに、前記床反力算出手段が算出する床反力 $F_{fbz}$ ,  $M_{fbx}$ ,  $M_{fby}$ と前記第2の床反力検出器の出力から検出される床反力 $F_{fxz}$ ,  $M_{fxz}$ ,  $M_{fxy}$ に基づいて前記変位センサ70および前記床反力検出器の少なくともいすれかが劣化あるいは異常か否か自己診断する自己診断手段（制御ユニット26, S100からS122）を備える如く構成した。

【0217】また、前記自己診断手段は、前記床反力算出手段が算出する床反力と前記第2の床反力検出器の出

力から検出される床反力の差および比の少なくともいすれか、より詳しくは差 $F_{ferrz}$ ,  $M_{ferrx}$ ,  $M_{ferry}$ が第1の所定範囲内にあるか否か判断する第1の判断手段（制御ユニット, S102からS106）を備え、前記自己診断手段は、前記差および比の少なくともいすれかが前記第1の所定範囲内にないと判断されるとき、前記変位センサ、前記第2の床反力検出器および前記弾性体の少なくともいすれかが劣化と自己診断する（制御ユニット26, S108からS112）如く構成した。

【0218】また、前記自己診断手段は、前記床反力算出手段が算出する床反力と前記第2の床反力検出器の出力から検出される床反力の差および比の少なくともいすれか、より詳しくは差 $F_{ferrz}$ ,  $M_{ferrx}$ ,  $M_{ferry}$ が第2の所定範囲内にあるか否か判断する第2の判断手段（制御ユニット26, S114からS118）を備え、前記自己診断手段は、前記差および比の少なくともいすれかが前記第2の所定範囲内にないと判断されるとき、前記第2の床反力検出器が異常と自己診断する（制御ユニット26, S120, S122）ように構成した。

【0219】また、前記自己診断手段は、前記差および比の少なくともいすれかが前記第1の所定範囲内にないと判断された回数をカウントするカウント手段（制御ユニット26, S108）を備え、前記カウントされた回数（カウント値C）が所定回数（所定値Cref）を超えるとき、前記変位センサ、前記床反力検出器および前記弾性体の少なくともいすれかが劣化と自己診断する（制御ユニット26, S110からS112）如く構成した。

【0220】第8および第9の実施の形態においては、少なくとも上体24と、前記上体に第1の関節（股関節10, 12, 14）を介して連結される複数本の脚部2を備えると共に、前記脚部の先端に第2の関節（足関節18, 20）を介して連結される足部22を備えた脚式移動ロボット1において、前記第2の関節と前記足部の接地端の間に配置された弾性体（円筒状弾性体382）の内部および前記弾性体の付近の少なくともいすれかに設けられ、前記第2の関節に対する前記足部の接地端の変位 $h$ （ $L_n$ ）を示す出力を生じる変位センサ70、前記第2の関節と前記足部の接地端の間に配置され、前記ロボットが接地する床面から前記足部に作用する床反力 $F_{fsz}$ ,  $M_{fsx}$ ,  $M_{fsy}$ を示す出力を生じる床反力検出器（6軸力センサ34）、および前記変位に応じて前記弾性体の変位 $h$ （ $L_n$ ）に生じる応力 $F_n$ の関係を記述するモデルを用い、前記変位センサの出力 $h$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ と前記床反力検出器の出力から検出された床反力 $F_{fsz}$ ,  $M_{fsx}$ ,  $M_{fsy}$ に基づき、前記変位センサから推定される床反力 $F_{fbz}$ ハット,  $M_{fbx}$ ハット,  $M_{fby}$ ハットと前記床反力検出器の出力から検

出された床反力との差を示す床反力推定誤差 $F_{ferrz}$ ,  $M_{ferrx}$ ,  $M_{ferry}$ を出力すると共に、前記モデルのパラメータ値 $K_a$ ,  $K_b$ ,  $D$ を同定する適応オブザーバ100、より詳しくは適応オブザーバ100を備えた推定手段（制御ユニット26, S200からS224）を備える如く構成した。

【0221】さらに、少なくとも前記パラメータ値 $K_a$ ハット,  $K_b$ ハット,  $D$ ハットに基づいて前記弾性体の劣化を自己診断する弾性体自己診断手段（制御ユニット26, S218）を備える如く構成した。

【0222】また、前記適応オブザーバ100が前記足部22のそれぞれ、具体的には左右の足部について別々に（右脚用100R, 左脚用100Lとして）設けられるように構成した。

【0223】また、前記適応オブザーバ100が前記足部22の全て、具体的には2個の足部22について1個設けられるように構成した。

【0224】また、前記パラメータ値 $K_a$ ,  $K_b$ ,  $D$ 、より詳しくはパラメータ共通化処理ブロック104で共通化処理されたパラメータ値 $K_a$ ハット+ $\Delta K_{aae}$ ,  $K_b$ ハット+ $\Delta K_{bae}$ ,  $D$ ハット+ $\Delta D_{ave}$ が、複数個の前記適応オブザーバ100R, 100Lに共通して用いられるように構成した。

【0225】さらに、前記床反力推定誤差 $F_{ferrz}$ ,  $M_{ferrx}$ ,  $M_{ferry}$ に基づいて前記床反力検出器の異常を自己診断する床反力検出器自己診断手段（制御ユニット26, S102からS122）を備えるように構成した。

【0226】また、前記モデルが前記弾性体の粘弾性特性をバネ（バネ定数 $K_a$ のバネとバネ定数 $K_b$ のバネ）とダンパ（ダンピング定数 $D$ のダンパ）で近似するものであると共に、前記パラメータ値が前記バネとダンパの定数 $K_a$ ,  $K_b$ ,  $D$ からなるように構成した。

【0227】尚、上記において、変位センサを静電容量式の感圧センサを用いて構成したが、感圧センサの種類はそれに限られるものではなく、圧電式、歪みゲージ、うず電流式などであっても良い。

【0228】また、2足のヒューマノイド型のロボットを例にとって説明したが、この発明は3足以上の脚式移動ロボットにおいても妥当するものである。

【0229】

【発明の効果】請求項1項においては、弾性体の内部あるいはその付近に第2の関節に対する足部の接地端の変位を示す出力を生じる変位センサを設けると共に、それに応じて弾性体に生じる変位と応力の関係を記述するモデルを用い、変位センサの出力に基づいて足部に作用する床反力を算出する如く構成したので、床反力を精度良く算出することができ、脚式移動ロボットを一層安定に歩行させることができると可能となる。

【0230】請求項2項にあっては、モデルが、第1の

バネと、前記第1のバネに直列に配列されるダンパと、前記第1のバネおよびダンパに対して並列に配列される第2のバネとから記述されるように構成した、即ち、弾性体のダンピング特性まで考慮したモデルを用いるようにしたことから、周波数特性に優れた床反力の推定値を得ることができ、換言すれば床反力の算出を応答性良く行うことが、脚式移動ロボットを一層安定に歩行させることができると可能となる。

【0231】請求項3項にあっては、ダンパの変位を推定することによって床反力を推定するオブザーバを備えるように構成したので、床反力をより一層精度良く算出することができ、脚式移動ロボットを一層安定に歩行させることができると可能となる。

【0232】請求項4項にあっては、床反力算出手段が算出する床反力が、少なくとも鉛直軸方向に作用する力成分を含むように構成したので、その方向に作用する床反力に基づいて脚式移動ロボットを一層安定に歩行させることができると可能となる。

【0233】請求項5項にあっては、変位センサが上視面において局部的に複数個配置されると共に、複数個の変位センサのそれぞれの出力に基づいて床反力を算出するように構成したので、請求項1項で述べた効果に加え、足部の弾性を最適にすることができる。

【0234】請求項6項にあっては、算出する床反力が、重力軸方向に作用する力成分と、前記重力軸に直交する軸回りのモーメント成分を含むように構成したので、請求項4項で述べた効果に加え、それらの方向に作用する床反力に基づいて脚式移動ロボットを一層安定に歩行させることができると可能となる。

【0235】請求項7項にあっては、変位センサが、バネおよび感圧センサからなるように構成したので、請求項1項で述べた効果に加え、センサの構成を一層コンパクトにすることができます。

【0236】請求項8項にあっては、バネの剛性を弾性体の剛性に比して小さく設定するように構成したので、請求項1項で述べた効果に加え、弾性体の振動減衰効果を低下させることができない。

【0237】請求項9項にあっては、第2の関節と足部の接地端の間に、ロボットが接地する床面からロボットに作用する床反力を示す出力を生じる第2の床反力検出器を配置するように構成したので、脚式移動ロボットの足部に第2の床反力検出器を設けて足部に作用する床反力を検出するときも、それとは別に、足部に変位センサを配置して床反力を算出（推定）すれば、異種の検出手段を組み合わせてセンサの二重系を構成することができて検出信頼性を向上させることができます。

【0238】請求項10項にあっては、さらに、算出する床反力と第2の床反力検出器の出力から検出される床反力に基づいて変位センサおよび第2の床反力検出器の少なくともいずれかが劣化あるいは異常か否か自己診断

する自己診断手段を備える如く構成したので、検出信頼性を更に向上させることができる。

【0239】請求項11項にあっては、算出する床反力と検出される床反力の差および比の少なくともいずれかが第1の所定範囲内にあるか否か判断し、第1の所定範囲内にないと判断されるととき、変位センサ、第2の床反力検出器および弾性体の少なくともいずれかが劣化と自己診断する如く構成したので、それらの劣化を精度良く自己診断することができる。

【0240】請求項12項にあっては、算出する床反力と検出される床反力の差および比の少なくともいずれかが第2の所定範囲内にあるか否か判断し、第2の所定範囲内にないと判断されるととき、第2の床反力検出器が異常と自己診断する如く構成したので、床反力検出器の異常を精度良く自己診断することができる。

【0241】請求項13項にあっては、算出する床反力と検出される床反力の差および比の少なくともいずれかが第1の所定範囲内にないと判断された回数をカウントし、それが所定回数を超えるとき、変位センサ、第2の床反力検出器および弾性体の少なくともいずれかが劣化と自己診断する如く構成したので、一過性の事象によって誤認することが少なく、それらの劣化を一層精度良く自己診断することができる。

【0242】請求項14項にあっては、弾性体の内部およびその付近の少なくともいずれかに設けられ、第2の関節に対する足部の接地端の変位を示す出力を乗じる変位センサ、床面から足部に作用する床反力を示す出力を生じる床反力検出器、およびそれに応じて弾性体に生じる変位と応力の関係を記述するモデルを用い、変位センサから推定される床反力と床反力検出器の出力から検出された床反力との差を示す床反力推定誤差を出力すると共に、モデルのパラメータ値を同定する適応オブザーバを備える如く構成したので、脚式移動ロボットの足部に床反力検出器を設けて足部に作用する床反力を検出すると共に、それとは別に、足部に粘弹性特性を利用した変位センサを配置して床反力を算出（推定）するとき、温度センサを設けることなく、弾性体の温度ドリフトや劣化による粘弹性特性の変化を推定することができ、よって検出精度を一層向上させることができる。

【0243】請求項15項にあっては、少なくともパラメータ値に基づいて弾性体の劣化を自己診断する如く構成したので、検出信頼性を一層向上させることができます。

【0244】請求項16項にあっては、適応オブザーバが足部（脚部）のそれぞれについて別々に設けられて出力推定誤差と推定出力を出力するに構成したので、足部のそれぞれの値について検出精度を一層向上させることができます。

【0245】請求項17項にあっては、適応オブザーバが足部（脚部）の全てについて1個設けられて出力推定

誤差と推定出力を出力するように構成したので、簡易な構成でありながら、足部のそれぞれの値について検出精度を向上させることができる。

【0246】請求項18項にあっては、パラメータ値が、複数個の適応オブザーバに共通して用いられるよう構成したので、請求項16項の効果に加え、パラメータ値の差による歩行時の不安定化を防止することができる。

【0247】請求項19項にあっては、さらに、床反力推定誤差に基づいて床反力検出器の異常を自己診断する如く構成したので、検出信頼性を一層向上させることができます。

【0248】請求項20項にあっては、モデルが弾性体の粘弹性特性をバネとダンパーで近似するものであると共に、パラメータ値が前記バネとダンパーの定数からなるよう構成したので、温度ドリフトや劣化による粘弹性特性の変化を一層的確に推定することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の一つの実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置の説明斜視図である。

【図2】図1に示す脚式移動ロボットの足部の側面縦断面図である。

【図3】図2に示す足部の底面図である。

【図4】図2に示す足部の部分拡大図である。

【図5】この発明の第2の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置の動作を示す、図2に示す変位センサの異常検知（自己診断）を示すフロー・チャートである。

【図6】この発明の第3の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置の動作である、図2に示す変位センサによる床反力推定において使用される、図2に示す円筒状弾性体（弾性体）の特性を近似したモデルを示す説明図である。

【図7】第3の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置における変位センサによる床反力推定を説明する、図2に示す足部の模式図である。

【図8】第3の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置における変位センサによる床反力推定において使用されるバネ機構体モデルの入出力関係を示すブロック図である。

【図9】第3の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置の動作を示す、変位センサおよび6軸力センサなどの異常検知（自己診断）を示すフロー・チャートである。

【図10】この発明の第4の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置、より具体的にはその脚式移動ロボットの足部の構成を示す、図3と同様な足部22R、Lのうち、左脚の足部22Lの底面図である。

【図11】この発明の第5の実施の形態に係る脚式移動

ロボットおよびその床反力検出装置、より具体的にはその脚式移動ロボットの足部の構成を示す、図3と同様な足部22R, Lのうち、左脚の足部22Lの底面図である。

【図12】この発明の第6の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置、図2と同様の脚式移動ロボットの足部の側面縦断面図である。

【図13】図12に示す足部の底面の模式図である。

【図14】第6の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置の変形例を示す足部底面の模式図である。

【図15】第6の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置の変形例を示す足部底面の模式図である。

【図16】この発明の第7の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置、図2と同様の脚式移動ロボットの足部の側面縦断面図である。

【図17】この発明の第8の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置の構成を示す説明図である。

【図18】第8の実施の形態に係る脚式移動ロボットおよびその床反力検出装置の動作を示すフロー・チャートである。

【図19】この発明の第9の実施の形態に係る脚式移動

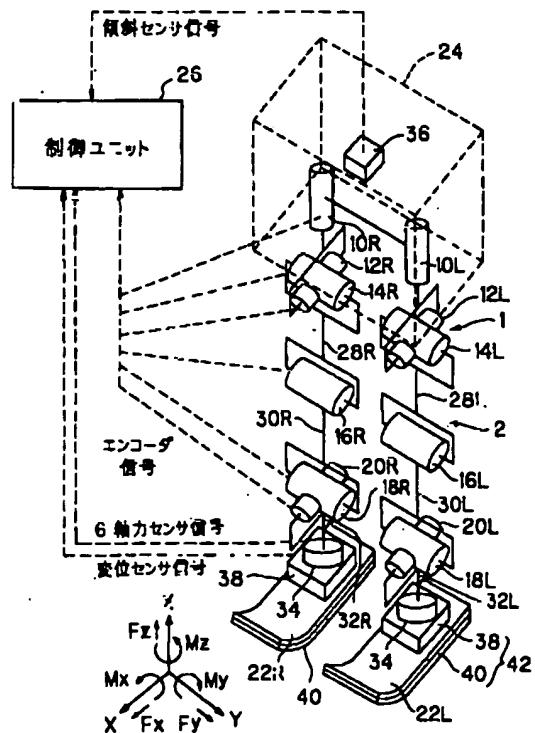
ロボットおよびその床反力検出装置の構成を示す説明図である。

【図20】図19に示すパラメータ共通化処理ブロックの構成を詳しく示す説明図である。

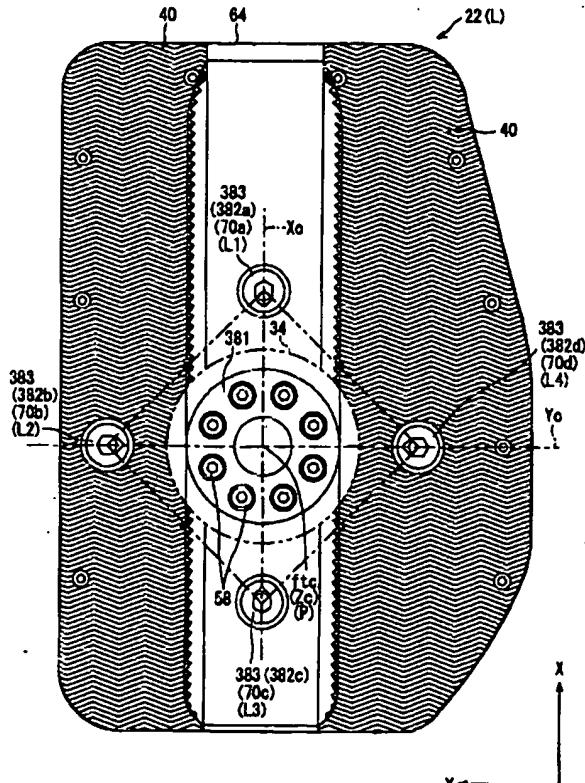
#### 【符号の説明】

- 1 脚式移動ロボット（ロボット）
- 2 脚部（脚）
- 10, 12, 14R, L 股関節（第1の関節）
- 18, 20R, L 足関節（第2の関節）
- 22R, L 足部
- 24 上体
- 26 制御ユニット
- 34 6軸力センサ（床反力検出器）
- 38 バネ機構体
- 40 ソール
- 50 足底フレーム（第2の剛性体）
- 52 足底プレート
- 70 変位センサ
- 90 オブザーバ
- 100 適応オブザーバ
- 381 逆Ω字状フレーム（第1の剛性体）
- 382 円筒状弾性体（弾性体）
- 701 感圧センサ
- 703 スプリング（バネ）

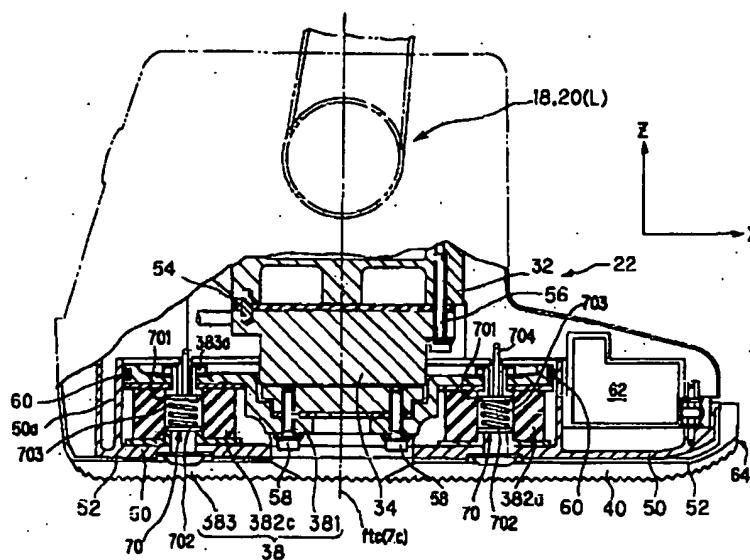
【図1】



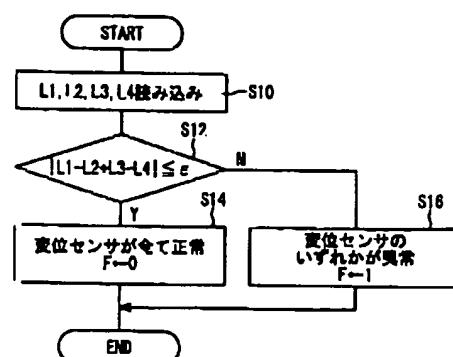
【図3】



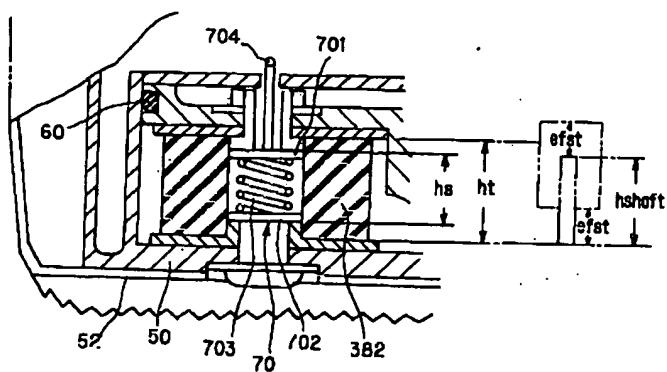
【図2】



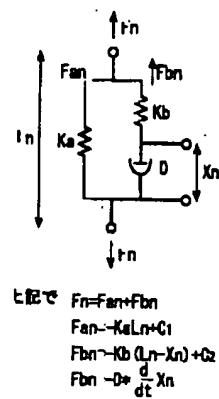
【図5】



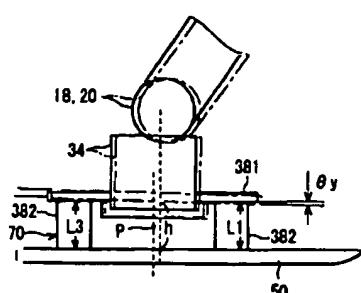
【図4】



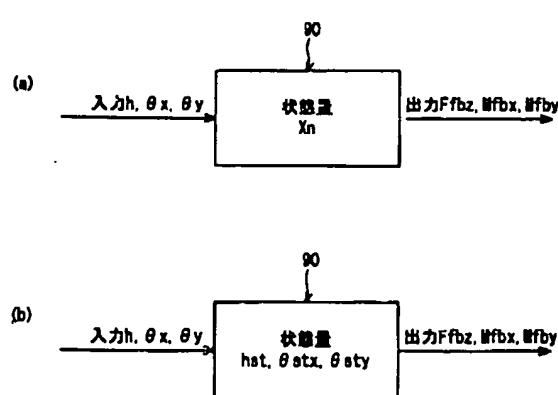
【図6】



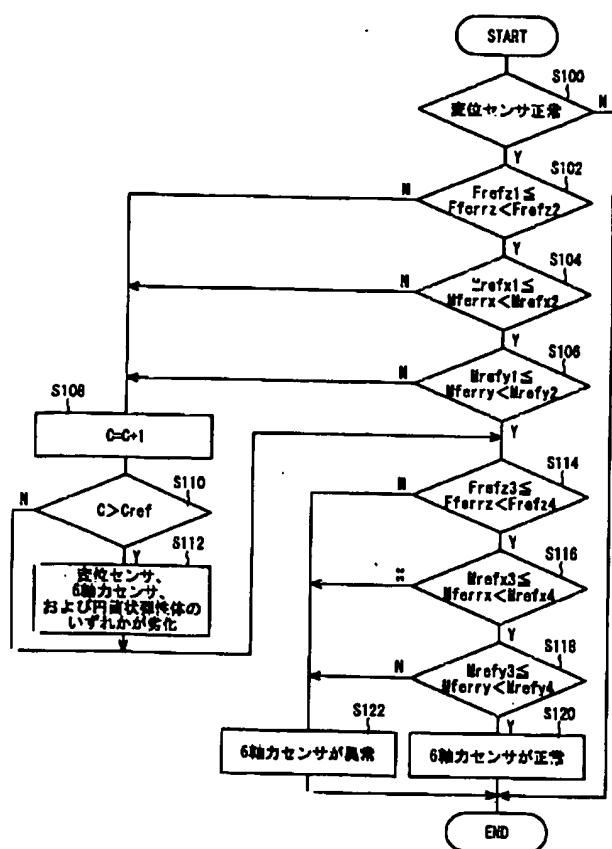
【図7】



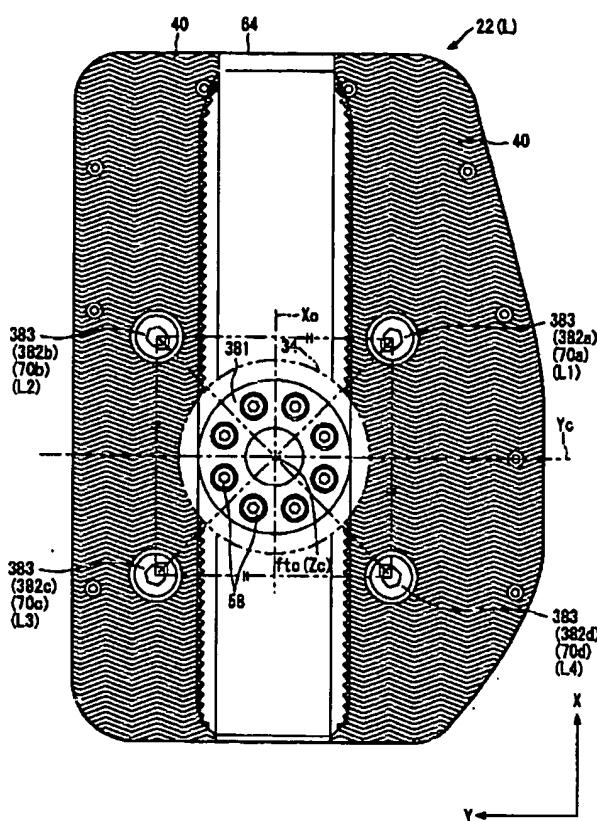
【図8】



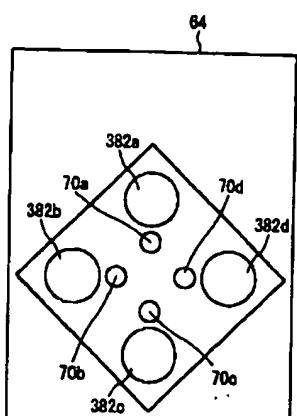
【図9】



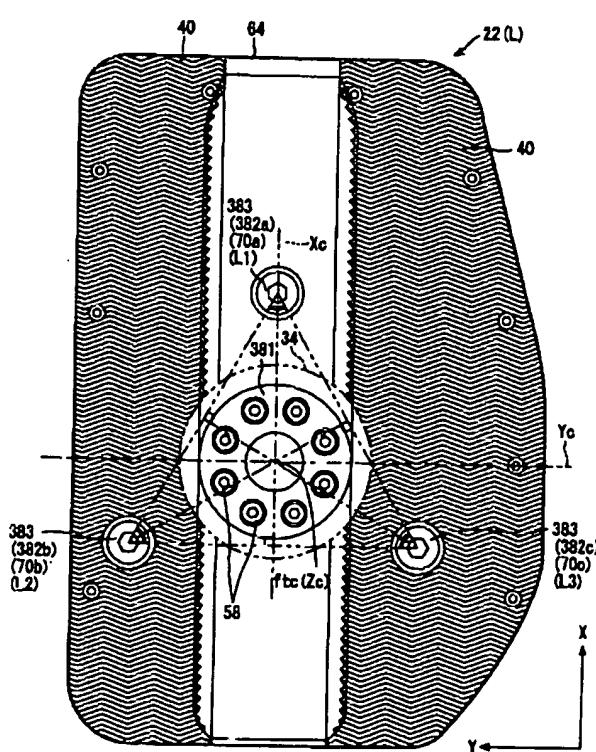
【図10】



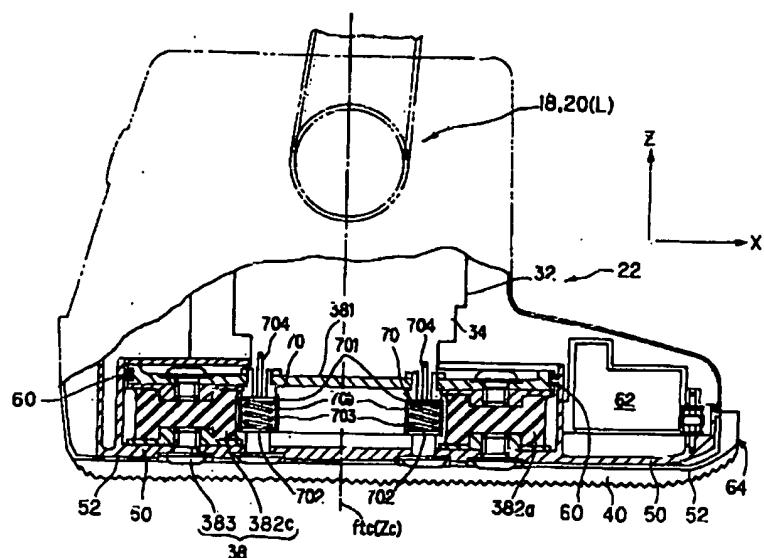
【図13】



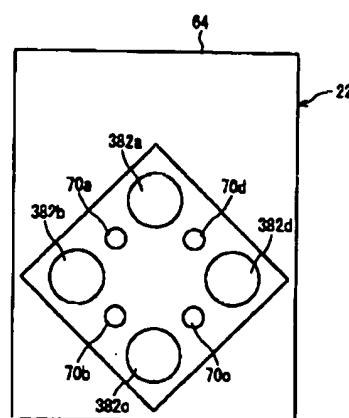
【図11】



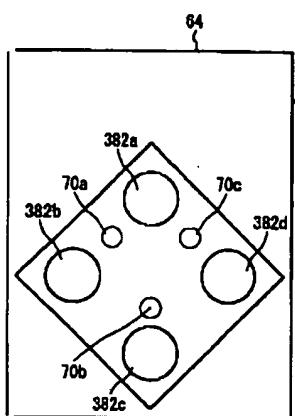
【图12】



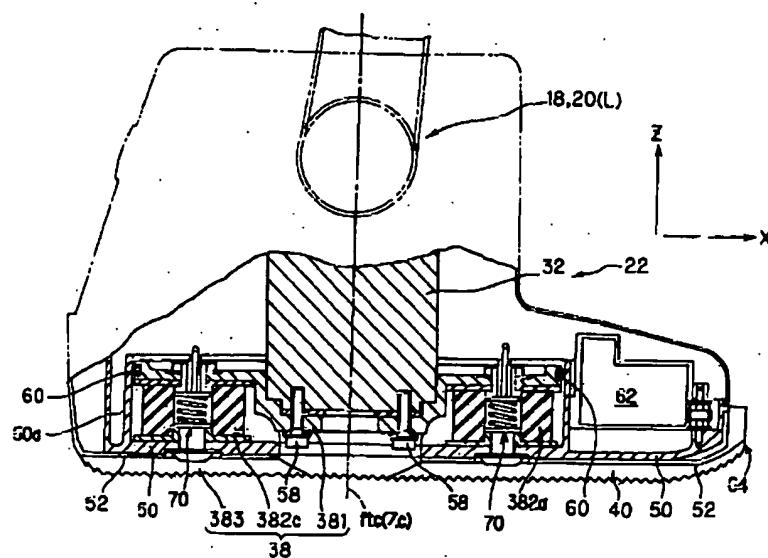
〔四〕



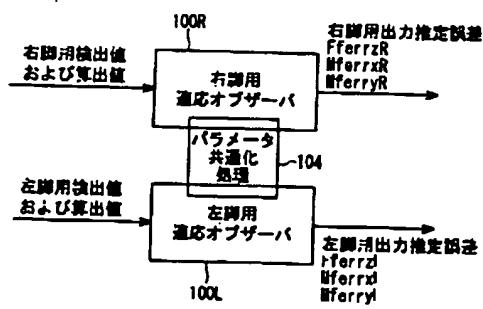
【 15】



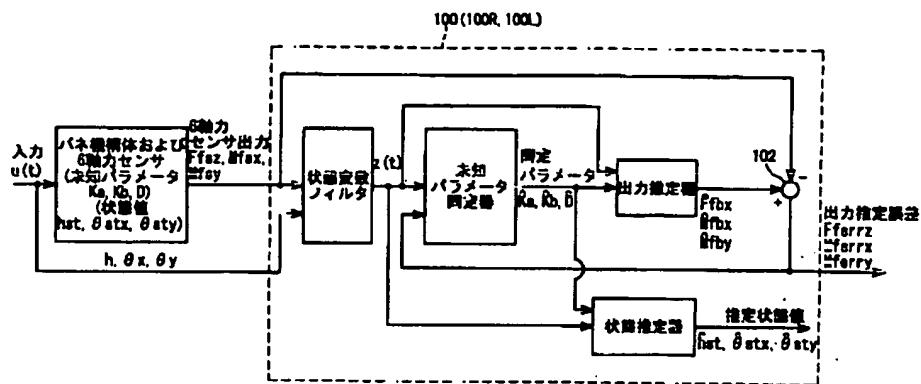
【 16】



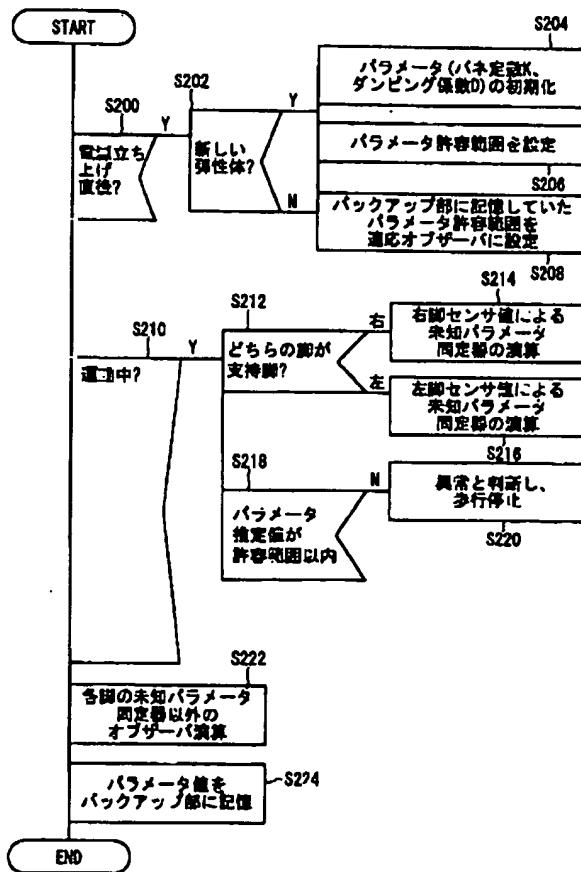
【図19】



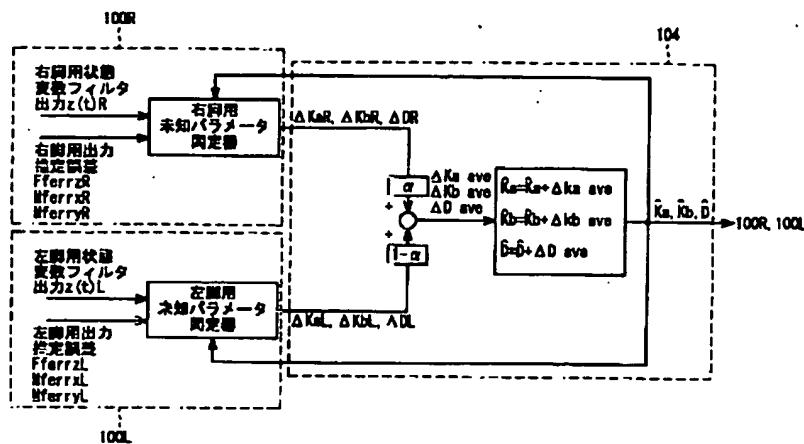
【図17】



【図18】



【図20】



フロントページの続き

(72)発明者 重見 聰史  
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社  
本田技術研究所内  
(72)発明者 松本 隆志  
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社  
本田技術研究所内

F ターム(参考) 2C150 CA01 DA04 DA24 DA26 DA27  
DA28 EB01 EB37 EC03 EC15  
EC25 EC29 ED10 ED42 ED52  
EF07 EF09 EF16 EF22 EF23  
3C007 AS36 CS08 KS34 KS36 KW03  
KX12 LW04 MS15 MS21 WA03  
WA13 WB01 WC23